This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

RESEARCH LIBRARIES
33 06909918 6

La Caille
3PEB

TRAITÉ
D'OPTIQUE.

TRAITÉ D'OPTIQUE,

PAR LACAILLE.

Nouvelle Édition, revue, corrigée et augmentée, particuliérement de la Marche des Images dans les instrumens d'Optique, des Lunettes Achromatiques et de l'Iris;

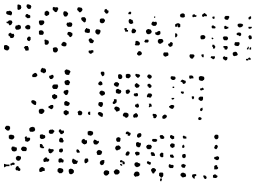
PAR PLUSIEURS ÉLEVES DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE;

Ornée de toutes les Planches de l'ancienne Edition auxquelles on en a joint plusieurs nouvelles.

A PARIS,
A LA LIBRAIRIE ÉCONOMIQUE,
rue de la Harpe, n° 117.

AN XI — 1802.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX
TILDEN FOUNDATIONS



AVERTISSEMENT

DU LIBRAIRE.

L'Optique est une des branches de la Physique qui a été le plus cultivée ; c'est aussi une des plus utiles et des plus agréables. En effet, on a si souvent occasion, dans tous les états de la vie, d'admirer le jeu merveilleux de la Lumiere, l'importance et la réalité des secours que procurent les instruments d'Optique, pour étendre la vue et suppléer à ses défauts, que les hommes les plus ignorants ne peuvent s'empêcher de témoigner des regrets de ne pouvoir connoître les raisons de tant d'effets si variés, si frappants, et d'une si grande utilité.

Depuis le moment où les Géometres ont pu appliquer l'analyse à l'ensemble des phénomenes qui composent la science de la Lumiere, ses progrès ont été très-rapides, et elle est arrivée promptement à un point de perfection que les autres branches de la Physique sont loin d'atteindre.

On a beaucoup écrit sur l'Optique, soit avant Newton, soit depuis le moment où cet homme célebre a publié ses beaux résultats sur la Lumiere. Aussi existe-t-il un grand nombre de Traités d'Optique faits par des savants en état de bien faire connoître les principes de cette science; mais il n'en est aucun plus précis et plus exact que les Leçons Élémentaires d'Optique de LACAILLE. On y trouve réunies, quoiqu'en un très-petit nombre de pages, toutes les Mathématiques qui y ont été appliquées.

La derniere édition de l'Optique de Lacaille étant épuisée, il étoit utile à l'instruction publique d'en publier une nouvelle; et, comme il manquoit à cet ouvrage plusieurs parties essentielles pour le compléter, telles, par exemple, que la Théorie de l'Aberration, la Mesure de la Réfraction par le moyen du Prisme, la Grandeur et la Position des Images dans les Miroirs, les Lentilles, les Microscopes et les Télescopes, la Théorie des objectifs Achromatiques et celle de l'Iris, on a dû, sans interrompre la marche de l'Auteur, intercaler ces

différents objets dans les places qui paroissent leur appartenir. Plusieurs Élèves de l'École Polytechnique se sont chargés, pour l'utilité de leurs camarades, de revoir cette nouvelle édition, et d'y faire les Additions que l'état actuel des connoissances paroissoit réclamer : elles sont distinguées de l'ouvrage de Lacaille par ces mots : *Addition* ou *Note des Éditeurs*.

L'Optique de Lacaille contenoit deux objets distincts ; l'Optique proprement dite et la Perspective : celle-ci étant enseignée à l'École Polytechnique d'une maniere plus générale, et par des méthodes plus simples et plus élégantes, on a cru devoir retrancher, dans cette édition, cette seconde partie qui appartient entiérement à la Stéréotomie, et qui, devenant en quelque sorte inutile, auroit cependant augmenté la valeur de l'ouvrage.

Si l'Optique de LACAILLE, séparée de la Perspective qui y étoit réunie, et augmentée des Additions que l'on y a faites, acquiert un nou-

veau degré d'utilité, ce sera à l'École Polytechnique que l'on en sera redevable; et, si les parties qui ont été ajoutées pour compléter cette Optique sont dignes de l'ouvrage de Lacaille, que ne doit-on pas attendre d'une École dont les Éleves sont en état de faire des Additions aux ouvrages des plus grands Maîtres!

LEÇONS
ÉLÉMENTAIRES
D'OPTIQUE.

L'Optique est une science Physico-mathématique, qui traite de la Lumiere et de la Vision.

2. La lumiere peut venir de l'objet à l'œil en trois manieres, 1°. ou directement, et sans aucun détour; 2°. ou après s'être brisée ou réfractée; 3°. ou après s'être réfléchie. On appelle *Optique proprement dite*, la partie qui traite de la Vision faite par une lumiere venue directement. On appelle *Dioptrique*, la partie qui traite de la Vision faite par une lumiere réfractée ou brisée; et *Catoptrique*, la partie qui traite de la Vision faite par une lumiere réfléchie.

3. *La Perspective* est encore une science optique. C'est l'art de représenter sur une surface donnée, les objets tels qu'ils paroissent, étant vus d'un point donné.

4. On appelle *milieu*, un espace que la lumiere doit traverser. Cet espace peut être ou absolument vuide, ou rempli d'une matiere de telle nature, qu'elle n'apporte aucun obstacle au mouvement de la lumiere; et alors on l'appelle un *milieu libre;* ou bien il peut être rempli de quelque matiere au travers de laquelle la lumiere puisse passer avec plus ou moins de facilité, et alors on l'appelle

un *milieu diaphane*. Si cette matiere est par-tout la même, on l'appelle *milieu homogène*; si cette matiere est composée de parties de différente nature, on l'appelle *milieu hétérogène*.

Un milieu diaphane est plus ou moins *dense*, selon qu'il contient, sous un même volume, plus ou moins de matiere capable d'arrêter ou de détourner la lumiere.

PREMIERE PARTIE.

De l'Optique proprement dite.

ARTICLE PREMIER.

Des Principes sur lesquels les démonstrations de l'Optique sont fondées.

5. LEs Principes qui servent de fondement à l'Optique ne se tirent que de l'expérience. Ce sont des faits dont tous les Physiciens conviennent. On peut les déduire tous en examinant les circonstances de l'Expérience suivante.

Fermez une chambre de tous côtés, de sorte que la lumiere n'y puisse entrer par aucune ouverture, si ce n'est par un très-petit trou. Alors, si le temps est serein, vous verrez sur les murs de la chambre (que je suppose polis et blanchis) tous les objets de dehors exposés à ce trou, peints avec toutes leurs couleurs (quoique foibles). Les peintures des objets fixes, comme des arbres, des maisons, paroîtront fixes : celles des objets en mouvement, comme des hommes, des chevaux, paroîtront en mouvement. Il est vrai que tout paroîtra dans une situation renversée, ce qui vient de ce que les rayons de lumiere se croisent en passant par le petit trou, comme on l'expliquera plus au long dans la

Dioptrique et la Catoptrique. Si le Soleil donne sur le trou, on verra un rayon lumineux qui ira en ligne droite se terminer sur la muraille, ou sur le plancher. Si on met l'œil sur ce rayon, on verra que l'œil, le trou et le soleil sont dans une même ligne droite : il en est de même des autres objets peints dans la chambre. Les images des objets reçus sur un même plan sont d'autant plus petites que les objets sont plus éloignés du trou. Nous examinerons dans la suite les autres circonstances de cette expérience qui représente ce qui se passe dans notre œil, lorsque nous voyons les objets qui nous environnent; en attendant, on en peut déduire les faits suivans.

6. I. *La Lumiere tend toujours à aller en ligne droite.*

7. II. *Un point quelconque d'un objet lumineux, peut être vu de tous les lieux auxquels une droite tirée de ce point, peut aboutir sans rencontrer d'obstacle.* Puisque la peinture d'un objet en mouvement est toujours visible dans la chambre obscure, tant que l'objet est exposé au trou.

8. III. Il suit delà qu'*un point lumineux envoie de la lumiere en tous sens. Il est le centre d'une sphere de lumiere qui s'étend indéfiniment de tous côtés.* Et si on conçoit que quelques-uns de ces rayons de lumiere soient interceptés par un plan, le point lumineux devient le sommet d'une pyramide de lumiere, dont le corps est formé par l'amas de ces rayons, et dont la base est le plan qui les arrête.

9. IV. L'image de la surface d'un objet qui se peint sur la muraille, est aussi la base d'une pyramide de lumiere dont le sommet est au trou de la chambre obscure : les rayons qui forment cette pyramide en forment une autre semblable et opposée, en se croisant dans le trou qui en est le sommet, et la surface de l'objet en est la base.

10. V. *Les particules de lumiere sont extrêmement fines :* puisque les rayons qui viennent de chacun des points visibles de tous les objets exposés au trou de la

chambre obscure, passent par une ouverture extrêmement petite, sans s'embarrasser sensiblement ni se confondre.

ARTICLE II.

Des propriétés générales de la lumiere.

11. I. PROP. *Dans un milieu libre, la force et l'intensité de la lumiere qui se propage par des rayons paralleles, sont toujours constantes.*

Car dans un milieu libre, il n'y a rien qui fasse obstacle au mouvement de la lumiere, rien qui l'empêche d'agir de la même manière; rien qui diminue sa vîtesse, ni qui change sa direction.

12. II. PROP. *Dans un milieu libre, la force et l'intensité de la lumiere qui se propage par des rayons qui partent d'un même point, ou qui concourent en un même point, sont en raison inverse des quarrés des distances à ce point.*

Car les écarts des deux rayons de lumiere qui partent d'un même point, sont toujours proportionnels à leurs distances à ce point, (puisque les écarts de deux mêmes rayons forment des bases paralleles de triangles isosceles, dont ces deux rayons sont les côtés). Supposons donc qu'ayant intercepté d'abord par un plan un certain nombre de ces rayons à une certaine distance du point de réunion, on recule ensuite ce plan à une distance double, puis triple, quadruple, etc. Les écarts des rayons seront entr'eux comme 1, 2, 3, 4, etc. (qui est le rapport des distances au point de réunion), et chaque dimension de la base de chaque pyramide lumineuse qu'on formera ainsi successivement, sera dans le même rapport. Donc (Elem. 608.) les surfaces de chacune de ces bases seront comme 1, 4, 9, 16, etc. De sorte que le même nombre de rayons se trouvant distribué successivement sur des surfaces qui sont entr'elles comme les quarrés des distances au point de concours des rayons, la force de la lumiere qu'ils forme-

ront diminuera dans la même proportion. Car en prenant sur la surface de chacune de ces bases une aire égale à la surface de la premiere base, on voit que la quantité de lumiere sur cette aire ou portion prise dans la seconde base, n'est que le quart de ce qu'elle étoit sur la premiere base: elle n'est que le neuvieme sur la troisieme base, et le seizieme sur la quatrieme, etc.

13. D'où on voit qu'à mesure que la lumiere s'écarte d'un point lumineux, sa force suit cette série $1, \frac{1}{4}, \frac{1}{9}, \frac{1}{16}, \frac{1}{25}$, etc.

14. Rem. Quoique la force de la lumiere décroisse aussi rapidement en s'éloignant de son origine, cependant l'*éclat d'un même corps lumineux vu à une distance quelconque dans un milieu parfaitement libre, et avec une même ouverture de prunelle, est constant.* Car cet éclat dépend de la densité des rayons qui forment l'image dans l'œil, comme on l'expliquera dans l'Article IV suivant, Or, si ayant placé l'œil à une certaine distance de l'objet, on le place ensuite à une distance double, l'image, dans ce second cas, occupe dans le fond de l'œil un espace qui n'a plus que la moitié de la longueur et de la largeur de celui qu'occupoit la premiere image, et qui n'en est par conséquent que le quart: mais aussi l'œil ne reçoit plus que le quart de la lumiere qu'il recevoit dans le premier cas. Donc les rayons de lumiere sont aussi denses dans cette seconde image que dans la premiere; donc l'éclat de l'objet est le même.

15. Il est vrai que, selon l'expérience, les mêmes objets paroissent d'autant plus obscurs qu'ils sont plus éloignés, et qu'enfin ils cessent d'être visibles; mais ils ne deviennent obscurs que parce que nous ne pouvons voir les objets qu'au travers de l'air, qui est un milieu assez dense, surtout vers la surface de la terre, et qui fait dissiper une quantité prodigieuse de rayons dans l'intervalle de l'objet à notre œil; puisque, selon les expériences et les calculs de Bouguer, 189 toises d'intervalle horizontal, qui font $\frac{1}{12}$ de lieue commune, font perdre la 100e partie de la lumiere, et 7469 toises ou 3 lieues $\frac{1}{4}$, en dissipent le tiers.

(Essai d'Opt. pag. 76. et 80.) Et ils ne cessent d'être visibles que parce que les images, en diminuant de grandeur, ébranlent un moindre nombre de filets nerveux de l'œil, et qu'enfin elles deviennent trop petites pour faire une impression sensible.

16. III. PROP. *La densité d'un milieu diaphane, uniformément dense, fait décroître selon une progression géométrique l'intensité de la lumiere qui se propage par des rayons quelconques.*

DEM. Supposons que la densité uniforme d'un milieu, par exemple, d'un morceau de glace, consiste en ce que le nombre des petites parties solides de cette glace, qui arrêtent la lumière au passage, fasse la $\frac{1}{n}$eme partie du volume de la glace. Supposons encore que cette glace soit divisée dans son épaisseur en tranches égales chacune en épaisseur au diametre de ces parties solides, que je suppose égales entr'elles, il est clair que si un faisceau de rayons de lumiere disposés comme on voudra et appelés 1, vient à tomber sur cette glace, la $\frac{1}{n}$eme partie de ces rayons sera arrêtée au passage de la premiere tranche, de sorte qu'il n'en sortira que $1 - \frac{1}{n}$ ou $\frac{n-1}{n}$, et parce que la seconde tranche est homogene et égale à la premiere, elle arrêtera de même la $\frac{1}{n}$eme partie des rayons qui s'y présenteront, c'est-à-dire, de $\frac{n-1}{n}$; laquelle partie est $\frac{n-1}{nn}$: donc il n'en sortira que $\frac{n-1}{n} - \frac{n+1}{nn} = \frac{nn-2n+1}{nn} = \frac{(n-1)^2}{n^2}$: on prouvera de même qu'il ne sortira de la troisieme tranche que $\frac{(n-1)^3}{n^3}$, de la quatrieme que $\frac{(n-1)^4}{n^4}$, etc. ce qui est évidemment en progression géométrique.

17. IV. PROP. *Dans un milieu diaphane et d'une densité uniforme, l'intensité de la lumière qui diverge d'un point lumineux pris dans ce milieu, décroît selon cette série,* $\frac{n-1}{n}$, $\frac{(n-1)^2}{4n^2}$, $\frac{(n-1)^3}{9n^3}$, $\frac{(n-1)^4}{16n^4}$, $\frac{(n-1)^5}{25n^5}$, etc. dans laquelle n exprime la portion des rayons de lumiere que la densité du milieu arrête à chaque intervalle égal des distances au point lumineux.

Car (13) au bout de chaque intervalle égal de distance en vertu de la divergence, l'intensité de la lumiere est comme 1, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{25}$, etc. et en vertu de la densité uniforme du milieu, elle est comme $\frac{n-1}{n}$, $\frac{(n-2)^2}{n^2}$, $\frac{(n-1)^3}{n^3}$, $\frac{(n-1)^4}{n^4}$, etc.

18. Par exemple, de ce que à 189 toises de distance, la lumiere perd $\frac{1}{100}$ de ses rayons, à cause de la densité de l'air, il suit que l'intensité de la lumiere, par laquelle on voit un objet à $\frac{1}{12}$ de lieue de distance, est à celle par laquelle on le voit à $\frac{1}{3}$ de lieue ou à 756 toises de distance, réciproquement comme $\frac{96059601}{1600000000}$ à $\frac{90}{100}$, ou à très-peu près, comme 33 à 2.

19. REM. I. Comme la lumiere qui nous vient des astres traverse l'atmosphere d'air qui environne la terre de toutes parts, il s'en perd d'autant plus de rayons, que cette lumiere doit faire un plus long trajet dans cet atmosphere : or ce trajet est d'autant plus long, que le rayon vient plus obliquement à nous. Soit A B C, (Fig. 1.) un arc de la circonférence de la terre, *a b c* un arc concentrique, qui est l'extrémité de l'atmosphere d'air, lequel ne s'étend guere que de quelques lieues au-dessus de nous. Soit D B un rayon de lumiere qui vient du Zénith perpendiculairement à l'horizon d'un observateur placé en B. Soit E B, un rayon qui vient obliquement, et F B un rayon qui vient horizontalement ; on voit évidemment que celui qui vient perpendiculairement n'a précisément que l'épaisseur *b* B de l'atmosphere à traverser ; que le rayon oblique E B en a une

portion G B plus grande que *b* B, mais que le rayon horizontal F B a le plus grand trajet H B à faire : d'où il suit que la lumiere des astres est la plus foible, lorsqu'ils paroissent à l'horizon ; qu'elle augmente à mesure qu'ils s'élevent au-dessus de l'horizon, et qu'elle est la plus vive lorsqu'ils passent au Zénith.

20. Par un calcul fondé sur ses expériences, Bouguer trouve que de 10000 rayons qui partant d'un astre viendroient jusqu'à notre œil, s'ils ne rencontroient pas notre atmosphere, il n'y en arrive réellement qu'autant qu'il est marqué dans la Table suivante.

Degrés de hauteur apparente.	Nombre des Rayons.	Degrés de hauteur apparente.	Nombre des Rayons.	Degrés de hauteur apparente.	Nombre des Rayons.
0	5	8	2423	30	6613
1	47	9	2797	35	6963
2	192	10	3249	40	7237
3	454	11	3472	50	7624
4	802	12	8773	60	7866
5	1201	15	4551	70	8016
6	1616	20	5474	80	8098
7	2021	25	6136	90	8123

21. REM. II. Bouguer a fait voir par des expériences, I°. que *la lumiere du Soleil est environ trois cent mille fois plus forte que celle de la Lune lorsqu'elle est pleine, et qu'elle est au milieu entre sa plus grande et sa plus petite distance de la Terre.* II°, *Que la lumiere du Soleil n'est plus sensible, lorsqu'elle est diminuée* 1000000000000^{me} *fois ;* en sorte qu'un corps est véritablement opaque, lorsqu'il ne laisse passer que la 1000000000000^{me} partie de la lumiere du Soleil.

22. REM. III. Une autre propriété de la lumiere que les observations astronomiques ont fait connoître, c'est que *la propagation de la lumiere se fait avec une extrême*

vîtesse, en sorte qu'elle n'est qu'environ 8 minutes de temps à venir du Soleil jusqu'à nous, c'est-à-dire, à parcourir 27500000 lieues : d'où il suit que nous ne voyons presque jamais rien dans le ciel qui soit actuellement dans son vrai lieu; parce que chaque astre avance dans son orbite pendant le temps que la lumiere qu'il nous envoye, parcourt l'espace compris entre lui et notre œil. Et parce que notre œil est lui-même entraîné par la révolution de la terre autour du Soleil, il en arrive une complication d'apparences, qui nous font rapporter les astres ailleurs qu'à l'endroit où ils sont réellement. Le détail de ces effets fait l'objet d'une partie considérable de l'Astronomie moderne. On l'appelle *la Théorie de l'aberration de la lumiere.* *

* *Addition de l'Éditeur.* « C'est par l'observation des » satellites de Jupiter que l'on est parvenu à déterminer » la vîtesse de la lumiere. On avoit remarqué que plus cette » planete étoit éloignée de la terre, plus il y avoit d'intervalle » entre le moment de l'immersion du satellite donné par » l'observation et celui calculé par les tables. Ayant observé » l'instant de l'immersion lorsque la terre est entre le Soleil » et Jupiter, et lorsque le Soleil se trouve entre les deux » planetes, il se trouva que dans le deuxieme cas, l'instant » de l'immersion arriva 16′ plus tard que dans le premier » cas. Or, comme dans ce deuxieme cas, Jupiter se trouve » plus éloigné que dans le premier d'une quantité égale au » diametre de l'orbe de la terre, on conclut que la lumiere » employoit, pour arriver du Soleil à la terre, précisément » la moitié de ce tems, c'est-à-dire, 8′.

» Cette observation qui est due à Rœmer, fournit à » Bradley l'explication aussi ingénieuse qu'évidente d'un » mouvement apparent qu'il avoit remarqué dans les étoiles » autour de leur position moyenne; mouvement que l'on » nomme *Aberration.*

» Pour se représenter ce phénomene d'une maniere » simple, considérons un satellite au moment de l'im- » mersion ; la lumiere qu'il réfléchit vers la terre, em- » ploie un certain tems à y arriver. Or, pendant ce tems,

» la terre s'avance d'une certaine quantité dans son orbite, et » le point où elle se trouve lorsque la lumiere du satellite est » arrivée à sa surface, n'est pas celui où elle se trouvoit au » moment de l'immersion. Pour avoir ce point et la direction » du rayon de lumiere sous lequel on appercevroit l'astre, » si la terre étoit immobile, ou si l'immersion de la lu- » miere étoit instantanée, il faut porter en sens contraire » l'arc que la terre a décrit, mener par ce point et par l'astre » une droite qui sera la vraie direction de la terre et de » l'astre au moment de l'immersion ».

23. V. PROP. *Si les rayons de lumiere partant d'un point, passent par un trou dans une chambre obscure, et sont reçus sur un plan parallele à celui du trou, ils formeront sur ce plan une figure semblable à celle du trou, d'autant plus grande qu'elle sera plus éloignée du trou.*

Car alors le point lumineux est le sommet d'une pyramide de lumiere dont les faces sont déterminées par les rayons qui rasent les côtés du trou, et dont la base est la surface du trou; au-delà de ce trou les rayons vont encore en s'écartant de plus en plus en dedans de la chambre obscure : si donc on les reçoit sur un plan parallele à ce trou, on coupe alors la pyramide ainsi prolongée par un plan parallele à sa base, et par conséquent la figure lumineuse sera semblable à celle du trou, et d'autant plus grande qu'elle en sera plus éloignée.

24. Il est clair, par la nature de la pyramide, que si on présente le plan obliquement à celui du trou, la figure lumineuse doit avoir autant de côtés que le trou; mais elle ne doit pas lui être semblable, elle doit être plus allongée.

25. On voit encore que cette figure lumineuse n'est autre chose qu'un amas d'autant d'images du point lumineux, qu'il y a de points dans la surface du trou.

26. VI. PROP. *Lorsque la lumiere du Soleil ou de la pleine Lune passe par un petit trou d'une figure quelconque, si on la reçoit sur un plan parallele à du trou et fort proche, on aura une figure lu-*

mineuse semblable à celle du trou ; mais si on la reçoit à une distance considérable, on aura une figure lumineuse sensiblement circulaire.

Car la surface du trou est composée d'une infinité de points qui sont comme autant de petits trous contigus, par chacun desquels passent des rayons de lumiere qui viennent de tous les points du disque du Soleil. Chaque point de la surface du trou est donc le sommet d'un cône lumineux dont la base est le disque du Soleil; l'axe est le rayon qui vient du centre du disque à ce point, et l'angle formé au sommet de ce cône par les deux apothêmes opposés, est de 32 minutes; les rayons de lumiere passant au-delà du trou, et s'y croisant, forment un autre cône lumineux qui a le même sommet, le même axe et le même angle au sommet, mais qui s'étend indéfiniment au-delà du trou, à l'opposite du Soleil. Et comme la largeur du trou est infiniment petite à l'égard de sa distance au Soleil, les axes de tous ces cônes sont tous paralleles entr'eux. Or à cause de la petitesse de l'angle au sommet de chaque cône, les apothêmes sont sensiblement confondus avec leurs axes à peu de distance du trou. Donc un plan posé tout auprès du trou, ne reçoit la lumiere du Soleil que comme s'il n'y avoit que les axes seuls, lesquels étant paralleles entr'eux, sont arrangés dans le même ordre que tous les points de la surface du trou; et par conséquent la figure lumineuse doit être sur ce plan semblable à la figure du trou. Mais quand on éloigne le plan, les apothêmes des cônes lumineux commencent à s'écarter sensiblement des axes; les cônes deviennent sensiblement ouverts, de sorte qu'à une distance considérable du trou, la figure lumineuse est composée de toutes les bases de ces cônes, qui sont des cercles. Les centres de ces cercles déterminés par la rencontre des axes des cônes, sont à la vérité arrangés sur le plan de la même maniere et à la même distance les uns des autres que les points de la surface du trou; mais leurs circonférences sont confondues les unes dans les autres, et forment par conséquent une figure à-peu-près circulaire, comme on voit

celle des sept cercles (Fig. 2) dont les centres sont A, B, C, D, E, F, G, et forment un heptagone irrégulier.

27. REM. I. Tant que les dimensions du trou ne différeront pas beaucoup entr'elles, la figure lumineuse sera sensiblement circulaire. Si la figure du trou est oblongue, comme si c'étoit celle d'un parallélogramme, la figure lumineuse paroîtra aussi comme un parallélogramme arrondi ou terminé en demi-cercle par les deux bouts opposés. En général toutes les figures lumineuses causées par le Soleil ou par la Lune, auront toujours leurs angles arrondis à une certaine distance.

28. II. Si le plan n'est pas parallele à celui du trou, la figure lumineuse sera ovale, parce que les bases de tous les cônes de lumiere deviendront des ellipses.

29. III. Si on bouche une partie du trou, ce qui changera la figure du trou, celle de l'image lumineuse ne changera pas; elle deviendra seulement plus foible de lumiere et plus petite.

30. IV. C'est pour cela que lorsqu'on se promene sous une avenue de hauts arbres éclairés du Soleil, et dont l'ombrage est assez épais, tel qu'est celui des maronniers d'Inde, on voit sur le terrein des cercles de lumiere qui répondent aux endroits entre lesquels le Soleil a pu pénétrer.

31. COROLL. *S'il y a plusieurs petits trous voisins les uns des autres*, par exemple, trois, *par où la lumiere du Soleil entre dans une chambre obscure, on verra d'abord à une certaine distance trois cercles lumineux; à mesure qu'on éloignera le plan, ces trois cercles s'aggrandiront sans que leurs centres se rapprochent ni s'écartent; puis ils se toucheront; enfin ils se confondront pour toujours en un seul, qui paroîtra de plus en plus rond et grand.*

ARTICLE III.

Des Propriétés des Ombres.

32. I. PROP. *UN corps opaque éclairé en partie, jette une ombre terminée par des lignes droites, et précisément opposée à la lumiere.*

Car la lumiere se propage (6) toujours en ligne droite, et les rayons de lumiere qui rasent les extrémités des corps terminent l'ombre qui reste derriere les corps.

33. II. PROP. *L'ombre d'un corps éclairé produit une obscurité d'autant plus sensible ou plus noire, que la lumiere qui éclaire la partie opposée est plus forte.*

Car alors le contraste de la lumiere qui avoisine l'ombre en doit être d'autant plus sensible.

34. REM. Lorsqu'un même corps est éclairé par plusieurs lumieres différentes, situées cependant à peu près du même côté, il jette à l'opposite autant d'ombres différentes, lesquelles se confondent en partie vers le pied de ce corps : et l'on voit par cette proposition pourquoi l'obscurité de ces ombres est d'autant plus grande, qu'elles sont en plus grand nombre confondues ensemble.

35. III. PROP. *L'ombre formée par l'interposition d'un corps opaque dans un milieu élairé, et reçue sur un plan, est toujours terminée par une pénombre, d'autant plus étendue que le corps lumineux est plus gros, que le corps opaque est plus loin du plan qui reçoit son ombre, et que cette ombre est reçue plus obliquement sur ce plan. L'intensité de cette pénombre diminue à proportion qu'elle s'éloigne de l'ombre pure.*

Soit A B le Soleil (Fig. 3.); E D un objet placé sur le terrein D I : il est clair qu'ayant tiré les rayons B F, C G, A H, un œil qui s'avanceroit de I vers H, verroit le Soleil

entier; étant en H, il commenceroit à n'être plus éclairé par le bord inférieur A du Soleil; en continuant de s'avancer, il verroit une portion du disque du Soleil de plus en plus petite: par exemple en G, il ne verroit plus que la moitié supérieure du Soleil, et en F il cesseroit de le voir; il entreroit dans l'ombre pure FD. D'où il paroît 1°. Qu'il voit d'autant moins clair qu'il s'approche plus de la vraie ombre: de sorte que l'espace HF est couvert d'une pénombre, d'autant plus forte qu'elle approche plus de l'ombre pure, laquelle commence en F. 2°. Que dans le triangle FEH, le côté FH qui mesure la pénombre est d'autant plus grand, que l'angle opposé FEH, (qui mesure le diametre apparent AB de l'objet lumineux) est plus grand, que la distance ED de l'extrémité E du corps au plan DI qui reçoit l'ombre est plus grande, et que les droites EH, EF, sont plus obliques.

36. REM. C'est pour cela que le terme de l'ombre des corps éclairés par le Soleil est toujours confus, sur-tout lorsque l'ombre est loin du corps qui la cause. Et parce que le diametre du Soleil est vu sous un angle de 32 minutes, il est évident (Elem. 746) que *la grandeur* FH *de la pénombre d'un objet est à la distance de l'extrémité* E *de l'objet au commencement* F *de son ombre pure, comme le sinus de* 32 *minutes, est au sinus de l'angle* EHD *de la hauteur apparente du bord inférieur du Soleil au-dessus du plan* DI *qui reçoit l'ombre.* Au reste, ce qu'on dit ici du Soleil, doit aussi s'entendre de la Lune, et en général de tous les corps éclairans qui ont un diametre sensible, lequel occasionne une pénombre: il n'y auroit qu'un point lumineux qui ne formeroit pas de pénombre.

37. IV. PROP. *Les longueurs des vraies ombres du Soleil ou de la Lune sont en raison inverse des tangentes des hauteurs apparentes du bord supérieur de ces astres au-dessus du plan qui reçoit ces ombres.*

Car dans le triangle rectangle EDF, il est clair (Elem 748) qu'en prenant l'objet ED pour rayon, la grandeur DI

de l'ombre est la tangente de l'angle DEF, complément de DFE, hauteur du bord supérieur du Soleil au-dessus du plan DI. Donc les ombres vraies sont comme les cotangentes de ces hauteurs, ou (Elem. 737) en raison inverse des tangentes des hauteurs du bord supérieur de l'astre qui les cause.

38. COROLL. *Etant données deux de ces trois choses: l'angle de la hauteur du bord supérieur de l'astre, la hauteur perpendiculaire d'un objet au-dessus du plan par rapport auquel on estime la hauteur de l'astre, et la longueur de la vraie ombre de cet objet, mesurée depuis le point où répond la perpendiculaire au plan, tirée de l'extrémité de l'objet, on peut connoître la troisieme,* par le calcul d'un simple triangle rectangle comme EDF.

39. V. PROP. *Si un globe lumineux éclaire un globe obscur plus gros que lui, il en éclairera une partie d'autant moindre, et il y emploiera une partie de sa surface d'autant plus grande qu'il sera plus petit. Ce sera le contraire s'il est plus gros; et s'ils sont égaux, la moitié de sa surface éclaire la moitié de la surface de l'autre.*

Soit en B (F. 4) un globe lumineux qui éclaire le globe plus gros C. Il est clair qne la partie du globe C, qui en est éclairée, est déterminée par les derniers rayons qui puissent y atteindre, et par conséquent par les rayons qui le touchent; de même les derniers rayons du globe B, qui puissent éclairer le globe C, ne peuvent être que des rayons tangens : ainsi les tangentes LP, KO, déterminent et les derniers points éclairans L, K, et les derniers points éclairés P, O. Si sur la droite BC, on éleve les diametres perpendiculaires HI, MN, ils partageront (Elem. 402) en deux également les circonférences des globes B, C : et si des mêmes points B et C, on abaisse sur les tangentes les perpendiculaires BL, BK, CP, CO, elles détermineront les points de contact. Ainsi l'arc LRK, (plus grand que de 180 degrés) représentera la partie éclairante, et

l'arc PSO, (moindre que de 180 degrés) la partie éclairée. Au contraire, si C étoit un globe lumineux, et B un globe obscur, l'arc PSO en représenteroit la partie éclairante, et l'arc LRK la partie éclairée. Enfin, si les globes étoient égaux, les tangentes seroient paralleles, et passeroient par les extrémités des diametres HI; MN; et par conséquent l'arc éclairant et l'arc éclairé seroient chacun de 180 degrés.

40. COROLL. I. Il est aisé de voir qu'à cause de la ressemblance des triangles rectangles LBH, PMC, KBI, OCN, les arcs LH, PM, KI, ON, sont d'un égal nombre de degrés, et que par conséquent l'*arc d'un globe qui mesure la largeur de sa partie éclairante, est le supplément à* 360° *de l'arc qui mesure la largeur de la partie éclairée de l'autre globe.*

41. COROLL. II. Par la même raison, l'*arc obscur du globe éclairé a autant de degrés que l'arc éclairant du globe lumineux, et l'arc éclairé en a autant que celui qui n'éclaire pas.*

42. COROLL. III. Et à cause des triangles rectangles semblables ABL, BLH, l'angle BAL LBH, d'où on voit que l'*excès de l'arc éclairé sur l'arc obscur, ou la différence entre la partie éclairante et la partie éclairée, est mesurée par l'angle* LAK *des rayons tangens.*

43. COROLL. IV. *Un globe éclaire la moitié d'un globe égal, à quelque distance qu'ils soient l'un de l'autre; mais un globe qui en éclaire un autre plus petit, en éclaire une partie d'autant plus grande qu'il en sera plus près, et réciproquement.* Car plus les globes seront près, plus l'angle PAO des tangentes sera grand, et par conséquent plus la partie éclairée excédera la partie obscure.

44. Ainsi on ne peut voir d'un œil seul la moitié d'un globe dont le diametre seroit plus grand que l'ouverture de la prunelle. Le Soleil éclaire plus que la moitié de chacune

chacune des planettes; la Lune étant pleine, éclaire moins que la moitié de la terre, etc.

45. COROLL. V. *L'ombre d'un globe éclairé par un globe égal, est cylindrique, et infinie;* car elle est terminée par des rayons qui sont tous paralleles entr'eux, et qui entourent une circonférence de cercle. *L'ombre d'un globe éclairé par un plus gros, est un cône fini,* comme KAL; et *l'ombre* QPOV *d'un globe* C, *éclairé par un plus petit* B, *s'étend à l'infini en un cône tronqué.*

46. COROLL. VI. Etant donnés les demi-diametres BK, CO, et la distance BC des centres de deux globes, on détermine aisément la longueur de l'axe BA du cône d'ombre du plus petit globe. Car si on tire KD, parallele à BC, à cause des paralleles BK, CO, on a BK, CD, et BC, KD, les triangles KDO, ACO sont semblables; donc DO : OC :: DK : CA; ou CO — BK : CO :: CB : CA. Otant donc CB de CA, reste BA qu'on cherche. Soit B la Terre, C le Soleil, BK 1, CO 80, 5 et BC, 17189: on trouve donc BA, 216 qui valent environ 324000 lieues, à raison de 1500 lieues pour le demi-diametre BK de la terre.

47. REM. Il est évident que la partie éclairée dont on parle dans cette proposition, renferme la pénombre, et ne se termine qu'à l'ombre vraie.

CHAPITRE IV.

De la Nature et des propriétés de la lumiere, par rapport à la Vision et aux Couleurs.

48. L'OEIL fait à notre égard, à quelques exceptions près, le même effet que la chambre obscure. La prunelle est un trou par où passent les rayons de lumiere, et où ils se croisent pour aller peindre sur la membrane qui tapisse le fond de l'œil, les images renversées de tous les ob-

jets qui sont exposés à notre vue; de sorte que les diametres des images ainsi peintes, sont à-peu-près proportionnels aux angles formés à l'entrée de la prunelle par les deux rayons qui partent des deux extrêmités de l'objet, pourvu que ces angles soient petits; ou bien, ce qui revient au même, les diametres des images d'un même objet sont d'autant plus grands, que la distance de cet objet est plus petit: et quoique ces images soient ainsi renversées dans notre œil, nous ne laissons pas de voir les objets droits; car puisque les rayons se croisent en entrant dans notre œil, le rayon parti de la partie supérieure d'un objet doit donc former la partie inférieure de l'image, et réciproquement. Or, comme nous ne pouvons juger de la position des objets que par l'impression que les rayons font sur notre organe, nous devons les juger posés dans la direction suivant laquelle cette impression se fait; mais l'impression du rayon qui vient d'un point placé au sommet d'un objet frapper la partie inférieure de l'organe, doit paroître effectivement dans la partie supérieure de l'objet.

49. Quoiqu'on ne puisse donner une explication complete de la maniere dont la lumière forme dans l'œil les images des objets, que par les regles de la Dioptrique; on va cependant exposer ici ce que l'expérience nous a appris sur la maniere dont la lumiere agit sur l'organe de la vue, et sur les idées qui en résultent.

50. La lumiere est un composé d'une quantité prodigieuse de particules de matiere ou de corpuscules distingués les uns des autres, d'une petitesse comme infinie, très-élastiques, mûs ou agités avec une vîtesse extrême, de sorte qu'étant parvenus sur l'organe de notre vue, ils le frappent avec une force proportionnée à la densité de ces corpuscules, à leur masse et à leur vîtesse; ils y causent des trémoussemens ou des impressions différentes, lesquelles en vertu de l'union intime de notre corps avec notre ame, occasionnent dans notre esprit des idées différentes sur la présence des objets d'où ces corpuscules atômes lumineux sont partis.

51. Les atômes lumineux sont de différentes espèces, ou du moins ils ont des propriétés particulieres qui sont comme invariables dans chacun, et indépendantes des différentes modifications que la lumiere peut souffrir dans sa route.

52. J'appelerai *rayon de lumiere*, la route d'un atôme ou point lumineux, ou plutôt une file d'atômes lumineux, contigus, homogênes ou de la même espece. Il y a autant d'especes de rayons lumineux qu'il y a d'especes d'atomes lumineux. Ces différentes especes se distinguent par les différentes sensations que l'organe éprouve : et ce sont ces différentes sensations que nous appellons *les couleurs*.

53. Quoiqu'il soit impossible de faire une division exacte de toutes les especes de rayons, cependant on en distingue ordinairement sept, qui forment autant de couleurs qu'on appelle *primitives*. On les met dans cet ordre, qui est le même que celui qu'on voit dans les arcs-en-ciel, *rouge, orangé, jaune, verd, bleu, pourpre, violet*. C'est pourquoi dans la suite en parlant des rayons de lumiere, nous dirons quelquefois *des rayons rouges, des rayons bleus, etc.* pour désigner les atômes lumineux qui causent dans notre œil une sensation particuliere, qui nous fait juger que ce que nous voyons est rouge ou bleu.

54. Un objet peut être visible, ou parce qu'il peut envoyer directement à notre œil des particules de lumiere ; et dans ce cas on l'appelle *objet lumineux*, comme le soleil, un flambeau, etc. Sa lumiere s'appelle *lumiere directe*, ou parce qu'étant rencontré par des rayons partis d'un objet lumineux, il peut les renvoyer vers notre œil, et occasionner en nous une idée de sa présence, de la maniere qu'on va l'expliquer ; et dans ce cas, cet objet s'appelle *objet éclairé ;* la lumiere comprise entre l'œil et lui, s'appelle *lumiere réfléchie*.

Comme le Soleil est par rapport à nous l'objet le plus lumineux qui nous éclaire, nous allons expliquer comment il nous fait voir les objets. Il en sera de même des autres corps lumineux, comme des flambeaux.

55. Le Soleil lance * de tous côtés, à une distance immense, une quantité prodigieuse de rayons de toutes les especes mêlées ensemble, de sorte qu'aucune ne prédomine sensiblement, et que dans tout l'espace de l'Univers qui nous est connu, il n'y a pas de point sensible qui ne soit rempli de sa lumiere, à moins qu'il ne soit occupé par quelque particule solide de matiere, ou qu'il ne se trouve dans l'étendue de la vraie ombre de quelque corps impénétrable à cette lumière.

56. Les rayons que notre œil reçoit directement de tous les points de la surface du soleil exposé à notre vue, forment un cône dont cette surface est la base, et l'entrée ou la prunelle de l'œil en est le sommet. Le prolongement de ces rayons au-delà de la prunelle forme en dedans de l'œil, en faisant abstraction de quelque détour dont on parlera dans la suite, un autre cône qui se termine sur le fond de l'œil, et qui par conséquent y fait une impression dans un espace circulaire de ce fond, laquelle occasionne l'idée de la présence actuelle d'un objet rond et lumineux, que nous appellons *le Soleil*.

57. Nous appellerons dans la suite *images des objets dans l'œil*, les espaces du fond de l'organe où les rayons de lumiere sont arrêtés, et où par conséquent les impressions se font sentir. On les appelle ainsi, parce qu'en effet lorsqu'on expose un œil dépouillé de toutes ses tuniques extérieures à un objet lumineux ou fortement éclairé, on voit une image de cet objet peinte avec toutes ses couleurs au fond de cet œil.

Lorsque les rayons du Soleil ne viennent à nous que par réflexion, ou plus généralement, lorsqu'ils rencontrent un corps, il peut arriver quatre cas.

* On ne prétend pas décider ici, si la lumiere se fait par une émission réelle & continuelle de particules lumineuses détachées du corps lumineux, ou si ce n'est que l'effet d'un mouvement d'ondulation ou d'oscillation dans une matiere élastique qui remplit l'Univers, et à laquelle le Soleil ou les autres corps lumineux par eux-mêmes donnent et entretiennent ce mouvement. Nous laissons aux physiciens à prendre parti dans cette question.

58. I. CAS. Si les parties solides de ce corps (que je suppose impénétrables à la lumiere, sont situées entr'elles si réguliérement à l'endroit de la surface où tombe la lumiere, qu'elles renvoyent tous ces rayons * dans le même ordre dans lequel ils y sont parvenus, il est clair qu'un œil qui se trouvera sur la route de ces rayons réfléchis, en recevra une impression qui sera précisément la même, que si ces rayons étoient venus directement du Soleil. L'œil ne s'appercevra donc que de la présence du Soleil; il s'en formera une image dans le fond de cet organe; et le corps qui aura renvoyé les rayons, ne sera qu'un vrai *miroir*, invisible à l'œil. Seulement à cause que les rayons réfléchis auront changé de route, le lieu où le Soleil paroîtra placé, ne sera pas le même que si le Soleil étoit vu directement, parce que nous jugeons que les objets sont situés dans la ligne droite, qui est la direction des rayons à l'instant qu'ils arrivent à notre organe; de même que lorsque nous recevons un coup de pierre sans la voir, nous jugeons par l'impression du coup, que la pierre est venue dans la ligne droite, et du côté où cette impression s'est fait sentir, quoique cette pierre ne soit peut-être parvenue à nous que par ricochet ou par une courbe, dont la droite que nous prenons pour sa vraie direction, n'est que la tangente au point où elle nous a frappé.

59. On sait par expérience que plus la surface d'un corps opaque exposé au soleil est parfaitement polie, plus elle fait parfaitement l'effet du miroir; c'est-à-dire, qu'elle devient d'autant moins visible, mais qu'elle renvoye une image d'au-

* C'est encore une question agitée parmi les physiciens de savoir si la réflexion de la lumiere se fait comme celle des corps à ressort, par une simple décomposition de mouvement à la rencontre des parties solides des corps; ou, ce qui est plus vraisemblable, à la rencontre d'une matiere élastique qui est répandue sur la surface des corps; ou bien si la réflexion de la lumiere n'est que l'effet d'une répulsion produite par un pouvoir actif qui s'exerce sur la lumiere à l'approche des corps. Sans prétendre rien décider, nous parlerons ici de la réflexion de la lumiere comme si elle se faisoit sur les parties solides des corps.

tant plus vive; et parce que la surface de tous les corps qui nous sont connus, n'a jamais ce poli parfait, mais que les particules solides qui la terminent, sont posées irrégulièrement, c'est-à-dire, différemment inclinées, élevées, figurées, etc. Nous supposerons dans la suite de cet article, que les surfaces des corps ne peuvent être des miroirs parfaits.

60. II. CAS. Si les parties solides d'un corps sont tellement situées à l'endroit de la surface où la lumiere tombe, qu'elles renvoyent tous ou presque tous les rayons du Soleil, ou du moins qu'elles n'en absorbent pas sensiblement plus d'une espece que d'une autre, ensorte que ces rayons soient réfléchis confusément, les uns d'un côté, les autres de l'autre, selon la position de la surface de la petite partie solide qui les aura reçus, l'œil qui se trouvera sur la route de cette lumiere confusément réfléchie, recevra des rayons, qui viendront de toutes les parties de la surface réfléchissante. Tous ces rayons formeront une espece de Pyramide, dont cette surface sera la base; la prunelle de l'œil en sera le sommet: leur prolongement formera en dedans de l'œil une autre Pyramide, qui se trouvera terminée au fond de cet organe, par une base à peu près semblable à celle de la Pyramide extérieure. Or chaque particule solide de la surface réfléchissante est un petit miroir, qui ne peut rapporter à l'œil qu'une très-petite partie de l'image du Soleil; la situation irréguliere de toutes ces particules solides les rend autant de petits miroirs différemment posés; ce qui cause autant de positions différentes dans l'apparence de chaque portion d'image du Soleil. D'où il suit que l'impression totale qui se fait dans toute l'étendue de la base de la pyramide qui est dans l'œil, doit occasionner l'idée d'un assemblage de parties lumineuses, terminé par une figure semblable à celle de cette base.

61. On concevra ceci plus facilement par l'exemple qui suit. On sait que le diametre du Soleil nous paroît soustendre dans le Ciel un arc d'environ 32 minutes. Si donc on renvoye, par le moyen d'un miroir plan exposé au Soleil, une image de cet astre vers un œil, cette image

paroîtra occuper une portion assez considérable du miroir. Supposons qu'on couvre presque toute cette portion, et qu'on n'en laisse à découvert qu'une assez petite partie, il est clair 1°. qu'on ne doit plus voir qu'une petite partie de l'image du Soleil qu'on voyoit entiere précédemment; 2°. Que cette partie d'image aura la figure de la partie découverte du miroir. Ce seroit la même chose, si au lieu d'un grand miroir presque tout couvert, on ne se servoit que d'un petit miroir égal et semblable à cette partie découverte. Cela posé, imaginons qu'on prenne plusieurs morceaux de glace de miroir, trop petits chacun pour faire voir une image entiere du Soleil; que l'on dispose chacun de ces morceaux en une figure quelconque, réguliere ou non, par exemple, en hexagone, en sorte cependant que chacun renvoye à un même œil la partie de l'image du Soleil qu'il peut renvoyer, (on verra dans la suite que pour cet effet les morceaux de glace ne doivent pas être dans un même plan), il est clair qu'en ce cas l'œil verra autant de portions d'images du Soleil qu'il y aura de miroirs, et que toutes ces portions d'images formeront une figure lumineuse semblable à celle qui résulte de l'assemblage des miroirs (par exemple, un hexagone) en sorte qu'à mesure qu'on ajoutera ou qu'on ôtera un morceau de glace, on verra paroître ou disparoître une portion d'image du Soleil, ce qui changera la figure lumineuse, de la même maniere que l'assemblage des portions de glace changera de figure.

62. On voit encore 1°. qu'on peut tellement disposer ces morceaux de glace, qu'il n'y ait pas d'intervalle sensible entre les portions d'images du Soleil qu'ils renvoyent; et qu'ainsi la figure lumineuse paroisse continue et sans interruption. 2°. Que selon que chaque morceau de glace sera plus ou moins net, plus ou moins poli, la partie de la figure lumineuse qu'il formera sera plus ou moins éclatante. 3°. Que la figure lumineuse doit faire la même impression dans l'organe, que si les rayons qui parviennent à l'œil venoient directement du Soleil, et que par conséquent elle doit être de même couleur que le Soleil, c'est-à-dire, blanche.

63. Si donc on regarde la surface d'un corps qui renvoie une très-grande quantité des rayons du Soleil de toutes les especes, sans en absorber plus d'une espece sensiblement que d'une autre, comme terminée par des particules solides qui soient des polyhedres isolés ou séparés les uns des autres, en sorte que leurs faces soient autant de petits miroirs placés irréguliérement, et dans des plans différents, on conçoit que ce corps doit paroître blanc, et terminé par une figure semblable à celle de son image qui est dans l'œil; et les parties de la surface de ce corps sont d'un blanc plus ou moins éclatant, selon le tissu plus ou moins serré des petits polyhedres, qui laisse par conséquent plus ou moins d'intervalles obscurs, selon leur poli, et selon la position de leurs faces à l'égard de l'œil et du Soleil.

64. On voit donc, dans cette hypothese, que *les corps blancs sont ceux qui réfléchissent vers notre œil des rayons de toute espece mêlés ensemble.*

65. III. CAS. Si les parties solides du corps sont tellement situées à l'égard de l'œil et du soleil, ou si elles sont d'une telle nature qu'elles ne renvoyent que très-peu de rayons, en sorte qu'ils soient presque tous absorbés en pénétrant dans les pores ou interstices des particules solides des corps, et en y souffrant différentes modifications ou différens accidens qui les arrêtent, ou qui les empêchent d'être reçus par un œil, si ce n'est en très-petit nombre; alors l'œil recevra si peu de petites portions d'images du Soleil, qu'elles ne feront aucune impression sensible, ou qu'elles n'en feront qu'autant qu'il en faut pour s'appercevoir qu'il y a au-devant de l'œil quelques parties qui réfléchissent un peu de lumiere. C'est pourquoi le corps ne sera pas ou presque pas visible, et l'on n'aura d'idée de sa présence et de sa figure, qu'autant que les objets voisins seront plus éclatans, et feront plus de contraste avec lui. On appelle ces sortes de corps, *des corps noirs.*

66. D'où il suit que dans cette hypothese, *les corps noirs sont ceux qui ne réfléchissent point ou que peu de rayons de lumiere.*

67. IV. Cas, Si les parties solides qui terminent la sur

face d'un corps sont d'une telle nature qu'elles absorbent presque tous les rayons de lumiere, excepté ceux qui sont d'une certaine espece, lesquels soient presque tous seuls réfléchis, l'œil qui se trouvera sur leur route recevra autant de petites portions d'images du Soleil qu'il y aura de particules solides qui lui auront renvoyé des rayons; mais ces petites portions d'image seront toutes d'une même couleur, et leur assemblage occasionnera l'idée de la présence d'un corps d'une certaine couleur déterminée par l'espece des rayons réfléchis, et d'une figure déterminée par celle de cet assemblage.

68. D'où il suit 1°. *Que les corps d'une certaine couleur sont ceux qui absorbent presque toutes les différentes especes de rayons, et qui ne renvoyent guere que ceux d'une certaine espece.*

69. II°. Que *les nuances des couleurs dépendent de la combinaison des différentes especes de rayons réfléchis.*

70. III°. Que *donner à un corps une couleur ou une teinture, c'est ou arranger ses parties intérieures, ou seulement celles qui terminent sa surface, ou faire entrer dans tous ses pores une matiere étrangere, ou couvrir sa surface d'un Vernis, de sorte que par quelques moyens semblables, les rayons réfléchis par ce corps ne soient tous ou presque tous que de la même espece; ou du moins que cette espece y domine par-dessus toutes les autres.*

71. Il suit encore de l'explication précédente de la Vision et des couleurs, qu'*un atôme de lumiere porte avec lui l'image du point lumineux d'où il est parti.* Si un rayon jaune parti du soleil rencontre un corps rouge, ou teint pour paroître rouge, ce rayon ne sera pas réfléchi: il pénétrera le corps, il y sera arrêté, ou bien il n'en sortira qu'après avoir fait plusieurs détours qui l'empêcheront de parvenir à l'œil. Mais s'il rencontre un corps jaune, il se réfléchira sans le pénétrer. Ce qui ne doit pas cependant se prendre si rigoureusement, qu'un rayon jaune ne puisse être absorbé par un corps jaune, ou réfléchi par un

corps rouge; mais seulement qu'un faisceau composé d'un très-grand nombre de rayons, jaunes par exemple, qui tomberont sur un corps rouge, très-peu en seront réfléchis, en comparaison de ceux qui ne le seront pas.

ARTICLE V.

Des idées que la vue occasionne dans notre ame.

72. ON vient de voir que nous ne nous appercevons de la présence et de la figure des objets que par l'impression que fait dans le fond de notre œil chaque image de ces objets lorsqu'elles s'y peignent; nous ne concluons de même leur grandeur, leur position, leur mouvement et leur distance, que par la nature de cette impression, ou par certains jugemens auxquels nous nous sommes accoutumés, quoiqu'ils soient souvent faux, et qu'ils ayent par conséquent besoin d'être redressés par le raisonnement.

73. Il y a une certaine portée ordinaire de notre vue, qui est la distance à laquelle nous avons coutume de converser, et de nous trouver dans le commerce de la vie. Lorsque des objets sont à cette portée, il arrive que quoique les dimensions de leurs images dans notre œil changent prodigieusement, pour peu qu'on s'approche ou qu'on s'éloigne de ces objets, nous ne nous appercevons pas qu'ils changent sensiblement de grosseur. Hors de cette portée cependant, nous voyons les objets diminuer à mesure que nous nous en éloignons, et réciproquement. Par exemple, si je place mon œil successivement à 2, à 4, à 6 pieds de distance d'un même homme, il est clair (Elem. 495) que les dimensions de son image seront successivement entr'elles à peu près comme 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, et par conséquent cet homme me devroit paroître plus petit dans le même rapport; puisque nous ne devrions juger de sa grandeur que par celle de ses images. On sait cependant qu'on ne s'apperçoit pas de

lette diminution. Et pour faire voir que cela ne provient que de l'habitude, il suffit de considérer que si nous voyons devant nous un homme à la distance de 120 pieds, il ne nous paroît pas d'une petitesse frappante, telle qu'elle nous paroîtroit cependant si étant au bas d'une tour haute de 120 pieds, nous le voyons au sommet. Ce qui vient sans doute de ce que n'étant pas habitués de porter notre vue si perpendiculairement pour converser, et que n'étant pas à portée de connoître par expérience ces sortes de distances, nous ne sommes plus dans le cas de juger comme à l'ordinaire; et alors nous déterminons le rapport des grandeurs des objets principalement par celui de leurs images dans notre œil.

74. Lors donc qu'un objet est à la portée ordinaire de notre vue, il paroît que nous ne jugeons de sa grandeur et de sa distance que par la connoissance que nous avons acquise par un usage long et familier des dimensions de tout ce que nous voyons entre notre œil et cet objet; et que ce jugement ne dépend pas des dimensions de ses différentes images dans notre œil, ou ce qui est le même des angles sous lesquels nous voyons les dimensions de cet objet; que hors de cette portée, ou que lorsque quelque obstacle nous cache absolument les objets intermédiaires, comme quand nous regardons quelque objet au travers d'un Télescope ou d'un Microscope, ou seulement d'un très-petit trou percé dans un plan opaque, la grandeur et la distance de cet objet nous paroissent dépendre des différentes dimensions de son image dans notre œil, de sorte que si cette image est grossie ou diminuée par quelque artifice optique, l'objet quoique fixe nous paroît changer de grandeur et de distance, il nous paroît s'agrandir et s'approcher, ou diminuer et s'éloigner, comme on l'expliquera dans l'article suivant.

75. Smith nous rapporte un fait d'après Chesselden, fameux Anatomiste Anglois, qui éclaircira encore ceci. Chesselden ayant fait voir que ceux qui ont une vraie cataracte sur les yeux, peuvent distinguer le jour de la nuit,

et les corps colorés de noir, de blanc et de rouge vif, lorsqu'ils sont fort éclairés, sans cependant pouvoir assigner leur figure; il dit qu'il avoit guéri un jeune homme de 13 ans, qui avoit une pareille cataracte; qu'après cette opération, le jeune homme ne put reconnoître ces corps colorés lorsqu'il les vit; les fausses idées qu'il s'en étoit faites auparavant n'étant pas suffisantes pour cela. Il ne pouvoit plus se persuader que les choses qu'il avoit connues par leur nom fussent les mêmes. Quand il commença à voir clair, il étoit si peu en état de faire aucun jugement sur la distance des objets, qu'il s'imaginoit les avoir tous sur ses yeux; il ne pouvoit concevoir aucune ligne d'intervalle entre lui et les murs de sa chambre; les objets lui parurent d'abord extraordinairement grands; il ne pouvoit concevoir comment toute la maison pouvoit être plus grande que sa chambre, quoiqu'il comprît fort bien que sa chambre n'étoit qu'une partie de la maison. Il ne pouvoit porter aucun jugement sur la figure des corps, quoiqu'ils fussent fort différents les uns des autres par leur forme et par leur grandeur; il ne pouvoit dire en quoi consistoit le plaisir qu'il trouvoit en voyant chaque objet. Il fut fort embarrassé à la vue des peintures, et il fut deux mois à se convaincre qu'elles ne faisoient que représenter des corps solides. Il ne tournoit pas d'abord les yeux vers les objets; il fut même long-tems à s'y habituer petit-à-petit. Il paroît donc que ce jeune homme n'a pû juger de la distance et de la figure des corps qu'après avoir remarqué plusieurs fois, et même après avoir acquis l'habitude de remarquer, nno-seulement la différence des impressions causées par les changements de figure et de place des images dans son œil, mais encore le rapport constant entre les idées causées par certaines impressions, et les idées occasionnées par certains mouvements dans les organes du toucher : il n'a appris à tourner les yeux vers les objets, qu'après avoir remarqué que l'exactitude de ce rapport étoit plus frappante, lorsque l'œil étoit dans une certaine situation à l'égard de ces objets. Enfin il est facile d'imaginer qu'il n'a pu parvenir à faire de

yeux l'usage ordinaire, qu'en contractant l'habitude de ger en un instant, que ce qui affectoit actuellement sa ue, devoit affecter ses autres sens de telle et telle maniere.

ARTICLE VI.

Des différentes apparences des objets vus de loin.

76. J'APPELLE *Angle optique*, celui qui est formé dans la prunelle de l'œil, par les deux rayons qui partent de chaque extrémité d'une des dimensions d'un objet.

77. I. PROP. *Les objets égaux ou inégaux, vus sous le même angle, paroissent égaux*, à moins qu'il n'y ait quelque cause particuliere qui en change les apparences.

Car, toutes choses d'ailleurs égales, nous ne pouvons juger de l'égalité ou de l'inégalité des objets que par celles des images qu'ils forment dans notre œil : or, si les dimensions de deux objets quelconques forment à la prunelle de notre œil des angles égaux, ils doivent former au fond de l'œil des images égales. Donc on les doit juger égaux.

78. II. PROP. *Les objets exposés de la même maniere à notre vue, paroissent diminuer de grandeur, à mesure qu'ils s'éloignent de notre œil.*

Car les dimensions de ces objets sont des bases constantes d'un triangle dont les côtés sont les distances de leurs deux extrémités à l'œil; ces côtés augmentant à mesure que l'objet s'éloigne, leurs angles opposés doivent augmenter aussi, et par conséquent (Elem. 495) l'angle à l'œil opposé au côté constant, doit toujours diminuer et former dans l'œil des images plus petites à proportion.

79. COROLL. I. *Les grandeurs apparentes ou les angles optiques des objets sont en raison inverse de leurs distances à l'œil, lorsque ces angles sont petits.*

80. COROLL. II. *Les parties égales d'un objet fort*

grand, et hors de la portée ordinaire de la vue, ne paroissent pas égales. Car les parties qui sont plus éloignées de l'œil, doivent sous-tendre des angles optiques plus petits et réciproquement.

81. COROLL. III. *Il se peut faire que la plus petite des deux parties d'un objet paroisse la plus grande des deux;* si elle est exposée de sorte qu'elle sous-tende un plus grand angle optique.

82. III. PROP. *Les lignes paralleles étant prolongées à une grande distance paroissent concourir et former un angle à leurs extrémités.* Parce que les lignes qui mesurent leurs intervalles qui sont toujours égaux, soutendent des angles optiques qui deviennent de plus petits en plus petits, et enfin insensibles, lorsqu'elles sont vues à une distance comme infinie: donc alors l'intervalle des lignes paralleles paroît nul vers leurs extrémités, et les paralleles paroissent concourir.

83. REM. De-là on voit 1°. *Pourquoi une tour fort élevée paroît comme penchée sur celui qui du pied en regarde le sommet.* Car si la tour est d'aplomb, le spectateur qui regarde en l'air, la compare à la ligne d'aplomb qui passe par son œil. Ces deux aplombs sont deux paralleles qui paroissent tendre à concourir; donc l'aplomb de la tour, qui est couché sur son mur, paroît se rapprocher, dans sa partie supérieure, de l'aplomb de l'œil; et par conséquent la tour paroît penchée, comme pour se renverser sur le spectateur. 2°. *Pourquoi la mer paroît s'élever d'autant plus qu'elle s'éloigne plus des côtes, et qu'on la voit d'un lieu plus élevé.* C'est par la même raison; on compare sa surface qui est le niveau, avec la ligne de niveau qui passe par l'œil du spectateur; ces deux niveaux étant paralleles, semblent se rapprocher à mesure qu'ils s'éloignent de l'œil: ils s'en éloignent d'autant plus, qu'on voit une plus grande étendue de la mer, et cette étendue est d'autant plus grande, qu'on est plus élevé. 3°. *Pourquoi dans une longue galerie le plafond paroît aller toujours en baissant, et le parquet toujours en*

montant. C'est qu'on compare l'un et l'autre à la ligne de niveau qui passe par l'œil: laquelle est au-dessus du niveau du parquet et au-dessous du niveau du plafond. 4°. *Pourquoi quand on marche parallélement à une avenue ou à un long mur, les parties qui sont à droite, paroissent tendre de plus en plus vers la gauche; ou si on est entre deux murs ou deux rangs d'arbres, ces objets paroissent s'écarter les uns des autres à mesure qu'on en approche,* etc.

84. COROLL. *Une ligne de niveau qui est aussi au niveau de l'œil,* par exemple, un cordon de muraille, *paroît toujours de niveau, de quelque maniere qu'elle soit dirigée à l'égard de l'œil, mais d'autres lignes de niveau qui seroient au-dessus ou au-dessous de celles-là, doivent toujours paroître inclinées à l'horizon.*

85. IV. PROP. *La figure apparente d'un objet est déterminée par la situation des points de cet objet, qui peuvent envoyer des rayons à l'œil:* ce qui est évident.

86. COROLL. I. *Une ligne droite tellement disposée, qu'étant prolongée, elle passeroit par le centre de la prunelle perpendiculairement à la surface de l'œil, ne paroît que comme un point.* Car il n'y a que le point de son extrémité qui est vers l'œil, qui puisse y envoyer un rayon de lumiere.

87. COROLL. II. *Un plan tellement exposé que l'axe de l'œil étant prolongé, seroit couché dessus, ne paroît que comme une ligne.* Car alors il n'y a que la ligne qui forme la partie du contour du plan, exposée à la vue, qui puisse envoyer à l'œil des rayons de lumiere.

88. COROLL. III. *Un solide qui ne présente à l'œil qu'une de ses faces, paroît comme une simple surface.*

89. V. PROP. *Un œil qui est dans le plan d'une grande ligne quelconque fort éloignée, réguliere ou irréguliere, la voit comme un arc de cercle dont il est le centre.*

Car puisque les points G, F, A, B, C, D, E, (Fig. 5.) de la courbe irréguliere GFAE, sont dans le plan qui passe par l'œil placé en O, et qu'ils sont bien au-delà de la portée ordinaire de la vue, l'œil ne peut juger quels sont les points plus proches; il ne peut distinguer la différence entre OP et OD, parce qu'elle est fort petite à l'égard d'une de ces deux droites, et par conséquent n'ayant aucun moyen de juger de l'inégalité de ces deux rayons, il est porté à les croire égaux, il en est de même des autres. Il doit donc s'imaginer au centre d'un cercle dont tous ces points sont à la circonférence.

90. REM. Si les différences étoient extrêmement inégales, on pourroit découvrir quelles sont les parties les plus proches par la vivacité de la lumiere, ou par leur grosseur. Et si l'œil étoit fort éloigné du plan de cette courbe, il pourroit aussi s'appercevoir de ses inégalités; les lignes DP, BL, FI, n'étant pas infiniment petites par rapport à OD, OB, OF, et étant d'ailleurs exposées plus directement à la vue que lorsque l'œil est dans leur plan, elles deviendroient sensibles.

91. COROLL. *Une petite ligne irréguliere, vue de loin, comme* ABCDE, *doit paroître une ligne droite;* car elle doit paroître comme un arc de fort peu de degrés.

92. C'est pour cela 1°. que lorsqu'on est dans une grande plaine terminée irréguliérement, on croit toujours être au centre d'un cercle, les objets élevés et éloignés paroissent être tous à la circonférence. 2°. On s'imagine qu'on n'avance guere quoique l'on marche toujours, parce qu'on se voit toujours au centre. 3°. Le ciel nous paroît comme une sphere creuse dans l'axe de laquelle notre œil est situé, et tous les astres sont comme attachés à sa circonférence. 4°. Les grandes villes et les forêts paroissent terminées en amphithéâtre, lorsqu'on les voit de loin, etc. 5°. Une sphere fort éloignée comme le Soleil et la Lune, ne nous paroît que comme une surface plane circulaire. 6°. Un Polyhedre taillé à facettes, paroît comme un globe, vu d'une distance médiocre; et vu de loin, comme un cercle. 7°. Une tour quarrée

quarrée ou polygone paroît ronde, ou même plate, si on la voit de bien loin. 8°. On n'apperçoit pas qu'un globe, qu'on voit même d'assez près, tourne sur son axe, s'il tourne uniformément, à moins qu'il n'y ait quelque tache sur sa surface, et que le globe ne tourne assez lentement.

93. VI. PROP. *Un œil placé dans l'axe élevé perpendiculairement au plan, et par le centre d'un polygone régulier, voit que ce polygone est régulier; mais s'il est hors de cet axe, il lui paroît irrégulier.*

Car les rayons tirés de tous les angles du polygone à l'œil placé dans l'axe, formeront une pyramide droite à base réguliere, dont par conséquent tous les angles qui composeront l'angle solide du sommet seront égaux, et tous les apothêmes aussi égaux; donc les côtés du polygone paroîtront à l'œil sous des angles égaux, et posés tous de la même maniere. Mais si l'œil est placé hors de l'axe, les côtés égaux du polygone régulier en seront inégalement éloignés, et paroîtront par conséquent inégaux et différemment posés.

94. COROLL. *Un polygone régulier vu obliquement, paroît allongé, et un cercle paroît comme un ovale.* Parce que les parties plus éloignées de l'œil paroissent plus petites, et plus rétrécies, les plus proches plus larges et plus étendues : donc les diagonales paroissent plus courtes dans un sens, plus longues dans l'autre.

95. REM. L'objet de la perspective est de représenter géométriquement toutes les apparences expliquées dans les propositions précédentes.

96. VII. PROP. *Les objets situés sur un terrein exposé à notre vue, paroissent d'autant plus sombres et confus, qu'ils sont plus éloignés. Au contraire, ils paroissent avec des couleurs d'autant plus vives et d'autant plus distinctement, qu'ils sont plus proches.*

La principale raison de cette apparence, est que la vue distincte et la vivacité des couleurs dépendent de l'intensité de la lumiere, laquelle décroît à mesure que l'objet s'éloigne, par l'interposition de l'air grossier compris entre l'objet et l'œil.

97. C'est pour cela 1°. que les objets un peu élevés au-dessus du terrein, tels que ceux qui sont sur le sommet des hautes montagnes, se voyent bien plus distinctement que ceux qui sont au pied, parce que l'air est d'autant moins grossier, et plus dégagé de vapeurs, qu'il est plus élevé au-dessus du terrein. 2°. Que par le moyen du clair et de l'obscur adroitement ménagés, les Peintres font saillir les objets et leur donnent du relief.

98. VIII. PROP. *Les objets qui paroissent sombres et confus, paroissent aussi plus éloignés.*

La raison en est qu'étant accoutumés à ne voir que confusément les objets éloignés, nous jugeons éloignés ceux que nous ne voyons que confusément.

99. REM. S'il arrive, par quelque cause que ce soit, qu'un objet hors de la portée ordinaire de la vue, mais à la grosseur duquel notre œil est accoutumé, devienne seulement plus sombre et plus confus, nous jugeons aussi-tôt qu'il est aussi plus éloigné; et comme il est resté à la même distance, et que par conséquent il forme dans notre œil une image qui n'est pas devenue plus petite, nous jugeons qu'il faut qu'il soit devenu plus gros.

100. De-là on voit facilement 1°. pourquoi pendant la nuit les feux clairs paroissent plus près qu'ils ne sont. 2°. Pourquoi les phantômes de nuit, ou même les objets proches de ceux qui voyagent de nuit, comme les arbres et les maisons, paroissent fort gros, et ces objets paroissent plus loin qu'ils ne sont réellement. 3°. Pourquoi le Ciel nous paroît comme une voûte surbaissée; car la lumiere des astres étant d'autant plus foible (20) qu'ils sont plus près de l'horizon, les astres paroissent d'autant plus éloignés de nous qu'ils sont moins élevés sur l'horizon; ainsi on a trouvé par expérience que la distance apparente de notre œil à l'horizon est à-peu-près triple de la distance apparente au Zénith. Ce surbaissement apparent est tel qu'en voulant assigner à l'estime de la vue un point dans le Ciel qui soit au milieu entre le Zénith et l'horizon, nous le prenons vers 23 ou 24 degrés de hauteur, au lieu que si le Ciel nous parois-

soit parfaitement hémisphérique, ce point devroit être à 45 degrés de hauteur. 4°. C'est encore pour cela que le Soleil et la Lune, en se levant, paroissent à la vue très-gros; qu'ils diminuent à mesure qu'ils s'élevent sur l'horizon, quoiqu'en mesurant leurs diametres avec des instrumens astronomiques, on éprouve tout le contraire. Soit AE l'horizon, (F. 6.) O le lieu de l'Observateur: le Soleil à différens degrés de hauteur dans le Ciel, en B C, D H, F G; AMRE la figure apparente du Ciel; il est clair qu'en quelque endroit que soit le Soleil dans le cercle AHGE, dont O est le centre, son diametre paroît sous les angles égaux BOC, DOH, FOG. Mais à cause de la figure surbaissée du Ciel, le Soleil paroît en K I, lorsqu'il est réellement en BC; en PN et en T S, lorsqu'il est en DH et en FG; et il semble dans ces lieux apparens être beaucoup plus petit, quoique son diametre soit mesuré par les angles IOK, PON, TOS égaux aux vrais angles BOC, DOH, FOG.

101. IX. PROP. *Les objets paroissent d'autant plus éloignés et plus gros, qu'on voit un plus grand nombre d'objets et une plus grande étendue de terrein entre l'œil et ces objets; et réciproquement ils paroissent d'autant plus près et plus petits, qu'on voit moins d'objets et de terrein entr'eux et l'œil.*

Car cette grande quantité d'objets et de terrein intermédiaire donne l'idée d'une grande distance, et par conséquent d'une grosseur d'autant plus considérable, et réciproquement.

102. C'est pour cela 1°. que l'horizon paroît contigu au Ciel, parce qu'on ne voit rien entre l'horizon et le Ciel. 2°. Que lorsque l'on ne voit pas un grand vallon qui se trouve dans une plaine, les objets qui sont au-delà de ce vallon paroissent tout près de nous; ils ne nous paroissent éloignés que lorsque nous arrivons sur le bord du vallon. 3°. Que le soir on voit que des objets un peu élevés et bien exposés à notre vue paroissent fort loin et gros; parce que la nuit empêchant de juger de leur distance, par la quantité

de terrein compris entr'eux et l'œil, on croit ces objets à l'horizon, et par conséquent fort gros et fort loin.

103. X. PROP. *Si deux objets inégalement éloignés de l'œil, parcourent des espaces paralleles et égaux dans un même tems, le plus éloigné paroîtra aller plus lentement, et le plus proche aller plus vîte : ce* qui est évident; parce que l'espace décrit par l'objet le plus éloigné, sous-tendra à l'œil un angle plus petit.

104. REM. Si les directions des vîtesses ne sont pas paralleles, il se pourra faire que le corps le plus proche paroisse aller plus lentement, quoiqu'il aille réellement plus vîte; parce que l'espace qu'il parcourt, peut être si oblique aux rayons visuels, qu'ils forment à l'œil des angles plus petits que les espaces plus petits décrits par le corps plus éloigné, mais exposés plus directement à la vue.

105. XI. PROP. *Un objet mu avec une vîtesse quelconque paroît immobile, si à chaque seconde de tems il décrit un espace qui ne fasse dans l'œil qu'un angle de* 15 *à* 20 *secondes.*

Ceci est évident par l'expérience que nous avons que les astres paroissent n'avoir aucun mouvement sensible à la vue, quoiqu'à chaque seconde de tems plusieurs d'entr'eux décrivent des espaces qui font dans notre œil un angle de 15 secondes.

C'est par la même raison que sur le cadran d'une montre de poche, le mouvement de l'aiguille des heures et même celui de l'aiguille des minutes, sont insensibles.

106. REM. On peut estimer le rapport de l'espace réel à la distance de l'œil, pour que le mouvement soit insensible, comme 1 à 1200; c'est-à-dire, qu'un corps qui dans une seconde de tems ne décrit qu'un espace égal à $\frac{1}{1200}$ de sa distance à l'œil, paroît immobile, parce que cet espace ne fait à l'œil qu'un angle de 17 secondes 12 tierces.

107. Par une raison contraire, *un objet qui se meut avec une vîtesse extrême, comme une balle de mousquet, devient invisible;* parce qu'il ne reste pas assez de tems dans chaque endroit pour que la vue puisse s'y arrêter et l'appercevoir.

108. XII. PROP. *Deux ou plusieurs objets mus en même sens, et avec une égale vîtesse apparente, paroissent immobiles en les comparant à un objet fixe; et cet objet fixe paroît se mouvoir en un sens contraire, avec une vîtesse égale à celle de ces objets en mouvement.*

Car deux ou plusieurs objets qui sont mus en même sens avec une même vîtesse apparente, paroissent ne pas changer de place à l'égard l'un de l'autre; et comme en changeant réellement de place, ils changent de situation par rapport à l'objet fixe, et répondent successivement à différentes parties de cet objet, il paroît que c'est cet objet fixe qui va en sens contraire avec la même vîtesse.

109. C'est pour cela 1°. que dans un carrosse ou dans un vaisseau, on s'imagine rester en une même place, et que les objets voisins vont en sens contraire: cette illusion est d'autant plus forte que le vaisseau est plus grand; car alors toutes les parties de ce vaisseau qui environnent le spectateur, en très-grand nombre et à différentes distances de son œil, à l'égard duquel elles gardent toujours une même situation, ne doivent pas paroître changer de place, ni se mouvoir. En effet, le spectateur ne remuant pas la tête, les images que toutes les parties du vaisseau exposées à sa vue, forment dans son œil, n'y changent pas de place; elles occupent toujours les mêmes places dans le fond de son œil, par conséquent les parties de ce vaisseau doivent non-seulement paroître réellement fixes, mais même propres à y comparer les autres objets visibles, pour voir s'ils sont fixes aussi. Or, à cause du mouvement réel du vaisseau, tous les objets qui sont fixes en dehors, doivent à tout moment changer de distance et de situation par rapport à l'œil du spectateur; donc les images de ces objets parcourent successivement différentes places dans son œil; donc ce sont ces objets qui doivent paroître avoir tous les mouvemens du vaisseau.

110. C'est par une semblable illusion que nous sommes portés à croire que le Soleil et tous les astres tournent

autour de la terre en 24 heures, et que la révolution du Soleil en un an se fait réellement autour de la terre.

111. 2°. Quand les nuages vont fort vîte, la Lune paroît aller très-vîte dans le sens opposé, et les nuages paroissent tranquilles, parce qu'ils avancent tous ensemble d'un même côté, avec une même vîtesse.

112. PROB. *Etant donnés de position le lieu* S, (Fig. 7.) *où le spectateur se croit immobile, tant de points* A, B, C, *qu'on voudra de la route réelle d'un mobile dans un plan quelconque, avec les points* a, b, c, *où l'œil du spectateur se trouve réellement aux mêmes instans, déterminer la route apparente de ce mobile.*

Ayant tiré les droites A a, B b, C c, menez-leur par le point S, les paralleles et égales S α, S β, S γ, et les points α, β, γ, seront ceux par où passera la route apparente du mobile. Car, par exemple, la droite S α étant égale et parallele à A a, le point α est situé de la même maniere et à la même distance du point S, que le point A par rapport au point a. Donc le spectateur imaginant avoir son œil en S, doit conséquemment imaginer que l'objet est en α. Il en est de même des autres points β, γ, etc.

113. COROLL. I. *Le vrai lieu et le lieu imaginaire de l'œil, le vrai lieu et le lieu apparent de l'objet, forment toujours un parallélogramme.* Le vrai lieu de l'objet et le lieu imaginaire de l'œil sont toujours aux angles opposés; le lieu apparent de l'objet et le vrai lieu de l'œil sont aux deux autres angles opposés; ce qui fait que *l'objet paroît toujours dans une situation opposée à celle du vrai lieu de l'œil du Spectateur.*

114. COROLL. II. *Si l'objet est immobile en* A, *sa route apparente* α ζ γ (Fig. 8.) *est une ligne égale à la route réelle de l'œil, et située dans un plan parallele.*

Car à cause des parallélogrammes $a\alpha$, $b\beta$, $c\gamma$, dont S A est une diagonale commune, et en même tems une intersection commune de leurs plans, et dont les bases S a, S b, S c, sont situées sur un même plan, qui est celui de la

ute de l'œil, leurs paralleles et égales $A\alpha$, $B\beta$, $A\gamma$, oivent être aussi dans un même plan parallele au plan de route de l'œil du Spectateur, et former les angles $\alpha A\beta$, $A\gamma$, égaux aux angles aSb, bSc. Donc les points α, β, γ, loivent être dans une ligne égale à la ligne abc, et dans un plan parallele, mais dans une situation renversée. Ou si l'objet est placé dans le plan de la route de l'œil, la route apparente de l'objet est aussi dans ce plan.

115. COROLL. III. *Si l'objet est immobile et placé dans le lieu où le spectateur imagine son œil, l'objet paroît à l'extrémité d'un rayon égal et dans la même direction que le rayon tiré du vrai lieu de l'œil à son lieu imaginaire.* Ainsi si l'œil tourne dans un cercle dont l'objet occupe le centre, et où le Spectateur s'imagine être, l'objet paroît décrire le même cercle, mais dans le point diamétralement opposé à celui où est l'œil du Spectateur, et par conséquent avoir la même vîtesse que l'œil.

116. REM. Les objets terrestres qui nous environnent de tous côtés, et qui sont fixes à notre égard, quoiqu'ils soient réellement emportés avec nous autour du Soleil, nous portent à imaginer que nous sommes en repos au centre du monde, que le Soleil tourne autour de nous quoiqu'il soit véritablement fixe; et que les planetes qui tournent autour du Soleil, décrivent des courbes fort singulieres, dans lesquelles ces corps vont tantôt d'Orient en Occident, et tantôt d'Occident en Orient, quoique leur mouvement réel ne se fasse jamais que d'Occident en Orient: or par le problême précédent, on peut représenter sur un plan tous ces mouvemens apparens. Car si on décrit deux cercles concentriques l'un pour représenter l'orbite de la terre, l'autre pour représenter l'orbite d'une planete, comme de Jupiter, par exemple; si les rayons de ces deux cercles sont dans le rapport des distances du Soleil à la terre et à la planete, c'est dans cet exemple comme 1 à 5: si enfin ces deux cercles sont divisés dans le rapport des vîtesses de la terre et de la planete, lequel est dans cet exemple comme 12 à 1, comme si on divisoit le cercle de la terre de 12

en 12 degrés, et celui de Jupiter de degrés en degrés: alors en marquant les divisions consécutives de l'orbite de la terre par a, b, c, etc. et celles de l'orbite de Jupiter par A, B, C, etc. (en commençant par les points qu'on voudra), mettant S au centre commun de ces deux cercles, il sera facile de trouver tous les points de la courbe apparente décrite par Jupiter, et par conséquent de rendre raison de toutes les bizarreries apparentes de ses mouvemens.

117. XIII. PROP. *Les objets dont les images se peignent sur les parties du fond de chaque œil, qui ne sont pas homologues, paroissent doubles.*

Les objets paroissent simples, quoique vus avec deux yeux, parce que les deux impressions égales faites sur deux fibres homologues et également tendues, ne font sensiblement qu'une même impression, ou, ce qui paroît établi par un grand nombre d'expériences, l'ame ne fait attention qu'à une seule de ces deux impressions égales et simultanées. Si les deux images se font sur des fibres qui ne sont pas homologues, les deux impressions seront différentes, et donneront par conséquent l'idée de deux objets.

118. REM. Les deux images se font sur des fibres homologues, lorsqu'on regarde un objet des deux yeux par des rayons qui sont sensiblement paralleles, ou bien lorsque l'on tourne les deux yeux de la même maniere vers l'objet. De-là il arrive que si on a un objet trop près des yeux, il paroît double, parce qu'on ne peut le regarder qu'en inclinant beaucoup les axes de la vision; l'œil gauche voit cet objet à droite, et l'œil droit à gauche, parce que ces deux axes sont inclinés de ces côtés. De même si on contourne les yeux d'une maniere différente, les objets paroissent doubles; parce que les impressions des objets s'y font en différens endroits. Les personnes ivres voyent souvent les objets doubles, parce que toutes les fibres de leurs nerfs et de leurs muscles sont tellement relâchées, qu'ils ne peuvent leur donner les mêmes mouvemens que lorsqu'ils ne sont pas en cet état; et par conséquent ils ne peuvent

ivent tenir leurs yeux dirigés de la même maniere à un
et. C'est aussi ce qu'on reconnoît facilement en regar-
nt leurs yeux.

119. Dans les passions excessives, comme dans la fu-
ur, on voit quelquefois les objets doubles, parce qu'on
est plus libre de tourner les yeux comme on veut.

SECONDE PARTIE,

Qui contient la Captoptrique et la Dioptrique.

CHAPITRE PREMIER.

Notions générales sur la Captoptrique et la Dioptrique.

ARTICLE PREMIER.

Des Images et des Foyers.

120. A Cause de l'extrême petitesse des atomes lumi-
neux, il est clair qu'un rayon seul ou même un
petit nombre de rayons ne peuvent faire une impression
sensible sur l'organe de la vue, dont les fibres sont très-
grossieres, en comparaison des rayons de lumiere. il faut
donc un grand nombre de rayons partis d'une même por-
ion de la surface d'un corps, pour rendre cette portion
isible. Mais comme les rayons de lumiere partis d'un
même point, vont en s'écartant toujours les uns des autres
3), il a fallu imaginer des moyens de les rapprocher, de

les réunir en un point donné, même de les écarter à volonté : ce sont ces moyens qu'enseignent la Dioptrique et la Catoptrique ; elles y emploient les verres et les miroirs.

121. On peut donc, à l'aide des verres et des miroirs, réunir en un même point sensible, un très-grand nombre de rayons partis d'un même point d'un objet : et parce que chaque rayon porte avec lui l'image du point d'où il est parti (54), tous ces rayons réunis en un point ne peuvent manquer d'y former une image du point de l'objet d'où ils sont partis ; cette image est d'autant plus vive, qu'il y aura plus de rayons réunis, et d'autant plus distincte, qu'ils auront mieux conservé dans leur réunion l'ordre dans lequel ils sont partis ; elle est si sensible, qu'en plaçant un plan poli et blanchi à l'endroit où la réunion s'est faite, on la voit peinte avec toutes ses couleurs, sur-tout si le lieu où l'expérience se fait, ne reçoit point d'autre lumiere.

122. Le point de réunion des rayons de lumiere formée par le moyen d'un verre ou d'un miroir, s'appelle *le foyer* de ce verre ou de ce miroir. Si cette réunion est réelle, le foyer s'appelle *foyer réel*, ou simplement *foyer* : c'est le lieu où se fait l'image de l'objet qui envoie la lumiere, et vers lequel l'objet paroît être réellement, si plusieurs des rayons qui se sont croisés en passant par ce foyer, viennent à entrer dans un œil. Si ce point de réunion n'est autre chose qu'un point auquel tendent toutes les nouvelles directions qu'on a fait prendre à des rayons qu'on a dispersés par le moyen d'un verre ou d'un miroir, ce point s'appelle *foyer imaginaire*. C'est aussi le lieu vers lequel l'objet paroît être réellement, lorsque plusieurs des rayons qui ont été dispersés, entrent dans un œil en assez grande quantité, pour y former une image sensible de l'objet. Car un objet paroît toujours être vers l'endroit d'où sa lumiere paroît venir à notre œil. (21).

123. De ce que chaque rayon porte avec lui l'image de l'objet d'où il est parti, il suit que *si des rayons après s'être entrecoupés, et avoir formé une image à leur intersection, se trouvent encore réunis par quelque*

réfraction ou réflexion, ils y forment encore une nouvelle image; et ainsi de suite, tant que leur ordre ne sera pas confondu : on peut donc former autant d'images d'un même objet qu'on pourra réunir de fois les rayons qui en sont partis, sans les confondre.

124. Il suit encore que *tant qu'il ne s'agira que de la marche des rayons lumineux, on peut regarder l'image comme l'objet, et l'objet comme l'image; et même une seconde image, comme si la première image eût été l'objet qui l'eût produite, et ainsi de suite.*

125. Si les rayons d'un faisceau sont inclinés les uns aux autres, on les appellera *divergens* ou *convergens*, selon qu'on les considérera comme s'écartant d'un point de réunion, ou se rapprochant pour se réunir : d'où l'on voit qu'un foyer est le passage de la convergence à la divergence, et réciproquement.

ARTICLE II.

Loix ou principes tirés de l'expérience, sur lesquels on fonde les démonstrations de la Dioptrique et de la Captoptrique.

126. I. Loi. *Tout rayon lumineux qui traversant un milieu, en rencontre un autre de différente densité ou de différente nature, change de direction : s'il ne peut pénétrer ce milieu, il se réfléchit à sa surface; s'il peut le pénétrer, il se brise ou se réfracte en y rentrant.*

Soit A C (Fig. 9) un rayon qui tombe de l'air sur la surface P Q d'un morceau solide de glace P S : par le point C (où la surface du nouveau milieu est rencontrée par le rayon A C, et qu'on appelle à cause de cela *le point d'incidence*,) élevez la droite M D, perpendiculaire à la sur-

face, (on l'appelle quelquefois le *cathete d'incidence*; et l'angle ACM ou son égal D C B, s'appellent l'*angle d'incidence.*) Si le rayon *incident* AC, trouve quelque obstacle qui l'empêche de pénétrer dans le verre, il change de direction en se réfléchissant, et il prend sa route le long de CI: et alors l'angle MCI, s'appelle l'*angle de réflexion.* Mais si le rayon incident A C peut entrer dans le verre, au lieu de suivre sa premiere direction C B, il se détourne ou se réfracte en prenant sa route le long de CT. Alors l'angle D C T, s'appelle l'*angle brisé*, et l'angle T C B, s'appelle l'*angle de réfraction;* C T s'appelle *le rayon brisé* ou *réfracté*, B E *le sinus de l'angle d'incidence*, et T H *le sinus de l'angle brisé.*

127. II. Loi. *Un point lumineux qui à la rencontre de différentes surfaces ou milieux auroit souffert toutes les réflexions, réfractions, inflexions, etc. qu'exigent la nature de ces milieux et la position de leurs surfaces, rebrousseroit précisément par la même route et avec la même vîtesse, s'il se trouvoit un obstacle qui l'obligeât de prendre une direction précisément opposée.*

Ainsi un rayon T C qui traverseroit le verre P S, rencontrant sa surface P Q, prendroit sa route le long de C A: ou ce qui revient au même, un rayon A C qui se seroit brisé en C T, et qui seroit repoussé en T, dans la direction T C, sortiroit du verre en prenant la direction C A.

128. III. Loi. *L'angle de réflexion ou de réfraction est dans le même plan que l'angle d'incidence, et ce plan est perpendiculaire à la surface du milieu:* car sa position est déterminée par le cathete d'incidence, qui est perpendiculaire à cette surface.

129. IV. Loi. *Le sinus de l'angle de réflexion ou de réfraction d'un rayon est dans un rapport constant avec le sinus de son angle d'incidence.*

Dans la réflexion ce rapport est celui d'égalité. Selon toutes les expériences, la différence est insensible.

130. Le rapport du sinus de l'angle brisé au sinus de

l'angle d'incidence est, lorsque le point lumineux passe de l'air dans l'eau de pluie, à-peu-près comme 3 à 4, ou plus exactement comme 3 à 4, 0076: de l'air dans le verre, comme 2 à 3, ou plus exactement comme 20 à 31 : du verre dans l'eau, comme 8 à 9, etc. et réciproquement le sinus de l'angle brisé est à celui de l'angle d'incidence, dans le passage de l'eau dans l'air, comme 4 à 3: du verre dans l'air, comme 3 à 2, etc.

131. Cor. I. *Lorsqu'un rayon incident et perpendiculaire à la surface du milieu qu'il rencontre, ou il se réfléchit sur lui-même, ou il traverse le milieu sans se briser.* Car alors le sinus de l'angle d'incidence étant = 0, le sinus de l'angle de réflexion ou de l'angle brisé est = 0 : ou ce qui est le même, le rayon reste toujours confondu avec le cathete d'incidence.

132. Cor. II. *Sous quelque angle d'incidence qu'un rayon rencontre un milieu pénétrable à la lumiere, il peut toujours être réfléchi, s'il ne le pénetre pas; mais lorsque le sinus de l'angle d'incidence doit, par la nature du milieu, être plus petit que le sinus de l'angle brisé, le rayon ne peut pas toujours pénétrer ce milieu en se réfractant;* ou ce qui est le même, *il y a toujours certaines limites dans les angles d'incidence, au-delà desquelles un rayon ne peut plus être réfracté, ni par conséquent sortir du milieu dans lequel il est, pour entrer dans celui qu'il rencontre.* Car si un point lumineux tombe de l'air sur une surface d'eau, avec un rayon d'incidence de près 90°, l'angle de réfraction sera d'environ 48° $\frac{1}{2}$, puisqu'alors le sinus total ou le sinus d'ncidence, est au sinus de l'angle brisé comme 4 à 3; ce qui donne cet angle brisé d'environ 48° $\frac{1}{2}$: Donc si un rayon avoit à passer de l'eau dans l'air sous un angle d'incidence de 48° $\frac{1}{2}$, il doit sortir de l'eau en rasant sa superficie, et sous un angle brisé d'environ 90° : mais si ce rayon avoit à passer sous un angle d'incidence de plus de 48° $\frac{1}{2}$, le sinus de son angle brisé devroit être plus grand que le sinus total; ce qui est impossible. Il est donc impossible que

le rayon sorte; et l'expérience apprend que ce rayon se réfléchit alors sur la surface commune de l'air et de l'eau, et reste dans l'eau. On peut faire le même raisonnement pour les autres milieux, et déterminer les limites des réfractions possibles par le rapport donné des sinus des angles d'incidence et de réfraction.

Nous ne parlerons dans la suite que des surfaces planes ou sphériques, parce que ce sont les seules qui soient en usage dans la pratique des Arts.

De la mesure de la Réfraction.

* *Addition de l'Editeur.* « La réfraction se mesure » par le rapport du sinus de l'angle d'incidence au sinus » de l'angle de réfraction, rapport indépendant de l'inciden- » ce, et constant pour un même corps.

» Il y a différentes méthodes de déterminer la réfraction » des corps terminés par des surfaces planes; la plus ingé- » nieuse est la suivante due à Newton, et qu'il a donnée » dans ses (*Lect. Optic.*)

» On sait qu'en faisant passer un rayon de lumiere à » travers les faces contiguës d'un prisme de matiere sus- » ceptible de refranger la lumiere, et dont les arêtes soient » perpendiculaires à la direction du rayon, il éprouvera » à l'entrée et à la sortie du prisme, une réfraction qui le » détournera de sa route primitive, et à cause de la di- » verse réfrangibilité de ses rayons homogenes, formera une » image alongée et nuancée des couleurs de l'iris.

» Si actuellement on fait tourner le prisme autour de » son axe d'un mouvement lent et continu, et si l'on ob- » serve la marche de l'image pendant la rotation du prisme, » on la voit s'avancer d'abord d'une certaine quantité, » s'arrêter ensuite tout-à-coup, et revenir vers sa posi- » tion primitive; lorsque l'image est stationnaire, la posi- » tion du prisme à l'égard du rayon incident est telle, » que le rayon incident et émergent font des angles » égaux avec les surfaces latérales du prisme.

» Or, dans ce cas, on peut avoir facilement la grandeur » des angles d'incidence et de réfraction, et par conséquent » leur sinus, dont le rapport est le même pour chaque inci- » dence, et qui est la mesure de la réfraction.

» Soit N S (*Fig.* 97.) le rayon incident, *b a* le rayon ré- » fracté et *b l* le rayon émergent; soit A B C, une section » transversale du prisme qui renferme le rayon de lumière, » l'angle d'incidence sera P *a* S, et l'angle de réfraction » N *a* R; par hypothèse N *a* R = N *b* R. Soit B H une » perpendiculaire qui divisera en deux également l'angle » A B C, soit P *a* la perpendiculaire à la face, on a R *a* M » = R B *a* = $\frac{1}{2}$ A B C comme complément du même an- » gle R *a* B, ce qui fait voir que l'angle de réfraction est » égal à la moitié de l'angle réfringent du prisme.

» L'angle d'incidence P *a* S = N *a* R + R *a* M = » N *b* R + $\frac{1}{2}$ A B C, c'est-à-dire que l'angle d'incidence » est égal à l'angle de réfraction qui est connu; plus l'angle » N *b* R qu'on peut mesurer immédiatement, soit au moyen » d'un quart de cercle, soit en prenant la hauteur de deux » de ses points au-dessus de l'horizon. Cette méthode est » évidemment applicable à tout corps terminé par des faces » planes, en opérant sur un angle plan comme sur les faces » du prisme.

» Le citoyen Hauy a fait une application ingénieuse de » ce procédé à la détermination de la réfraction des cristaux. » (Voyez à ce sujet le Traité de Minéralogie que ce savant » vient de publier.)

» La méthode précédente repose sur la propriété que, » la réfraction est égale de part et d'autre du prisme, lors- » que l'image est stationnaire. Newton l'a prouvé par la » synthèse dans ses (*Lect. Opt.*) La démonstration sui- » vante est purement analytique, et donne comme consé- » quence la valeur des angles d'incidence et de réfraction.

» Nous observerons d'abord que, puisque l'image est » toujours sur la direction du rayon émergent, à me- » sure qu'il s'écartera du rayon incident, ou que l'angle » formé par ces deux rayons augmentera pendant la rota-

» tion du prisme, l'image doit s'éloigner dans le même sens, » elle se rapprochera aussi lorsque l'angle diminuera ; donc « elle sera stationnaire lorsqu'il sera un maximum. C'est » d'après cette condition qu'il faut déterminer les angles » d'incidence et de réfraction.

» Soit EDF (*Fig.* 98.) l'angle du prisme, HA la direc- » tion du rayon incident, HC celle du rayon réfracté, » BC celle du rayon émergent, HG, CG les perpen- » diculaires, $n:m$ le rapport de réfrangibilité du milieu » environnant à celui du prisme, AHG = l'angle d'in- » cidence sur la premiere face = u ; CHG = l'angle de » réfraction = x ; HCG = l'angle de la deuxieme ré- » faction = x' ; BCG = l'angle émergent = u'. Soit f = » l'angle réfringent du prisme. L'angle HBC doit être » un maximum, ou, ce qui revient au même, ABC doit » être un minimum. Or la somme des angles $x + x'$ ajoutée » à la somme des angles DHC + DCH vaut deux droites, » mais ces deux angles étant supplément de HDC, » on a :

» HDC = $f = x + x'$. (1).

» De plus ABC = BHC + BCH = $u - x + u' - x'$, » d'où en vertu de l'équation (1) on a :

» ABC = $u + u' - f$ (2) qui doit être un minimum : » on a de plus : $sin.\ u = sin.\ x\ \frac{m}{n}$ (3).

$$sin.\ u' = sin.\ x'\ \frac{m}{n}\ (4).$$

» Différenciant les équations (1), (2), (3), (4).

» On doit avoir : $du + du' = o$.

» on a de même : $dx + dx' = o$.

» en substituant pour dx' et du' leurs valeurs

$$\frac{m}{n}\ cos.\ x\ dx = cos.\ u\ du.$$

$\frac{m}{n}\ cos.\ x'\ dx = cos.\ u'\ du$. En divisant, on aura

$$\frac{cos.\ x}{cos.\ x'} = \frac{cos.\ u}{cos.\ u'}.$$

» Elevant

» Elevant au quarré, on a :

$\frac{1 - \text{sin. } x^2}{1 - \text{sin. } x'^2} = \frac{1 - \text{sin. } u^2}{1 - \text{sin. } u'^2}$ d'où réduisant au même

» dénominateur, et ordonnant, on a :

» Sin. u'^2 (sin. $x^2 - 1$) — sin. x^2 = sin. u^2 (sin $x'^2 - 1$) — sin. x'^2.

» Eliminant Sin. u' et sin. u au moyen des Equations (3 et 4) on a, en multipliant par n^2 ; sin. x'^2 m^2 (sin. $x^2 - 1$) — n^2 sin. $x'^2 = m^2$ sin. x^2 (sin. $x'^2 - 1$) — n^2 sin. x'^2. D'où réduisant et ordonnant : m^2 sin. x'^2 + n^2 sin. $x^2 = m^2$ sin. x^2 + n^2 sin. x'^2 ; d'où :

» Sin. x'^2 ($m^2 - n^2$) = sin. x^2 ($m^2 - n^2$).

Et sin. x'^2 = sin. x^2 ; donc sin. x = sin. x' et $x = x'$. De plus l'équat. $\frac{cos.\ x}{cos.\ x'} = \frac{cos.\ u}{cos.\ u'}$;

» donne *cos.* u = *cos.* u' et $u = u'$. D'où il suit » que les angles HCG et CHG sont égaux, ainsi » que les angles BCG et BHG, c'est-à-dire que les » incidences et les réfractions sont égales de chaque » côté du prisme. Si l'on substitue $u' = u$ et $x' = x$; » dans les équations (1 et 2) on en tire $x = \frac{f}{2}$, et $u = \frac{f}{2} + \frac{ABC}{2}$

» C'est-à-dire que l'angle de réfraction $x = \frac{f}{2}$, est égal à » la moitié de l'angle réfringent du prisme, etc. ainsi que » nous l'avons déjà démontré ».

CHAPITRE II.

De la Catoptrique.

ARTICLE I.

Des Images ou Foyers par réflexion. *

DÉFINITION DU FOYER PAR LES CAUSTIQUES.

* *Addition de l'Édit.* » LOrsque plusieurs rayons » solaires arrivent sur une surface concave, la suite des » intersections formées par les rayons réfléchis et infini- » ment voisins forment des courbes lumineuses (fig 41,) » que l'on nomme caustiques par réflexion. Dans les » surfaces de révolutions, toutes les courbes génératrices » ont des caustiques égales et qui se touchent en un même » point de l'axe que l'on nomme foyer. On voit d'après cela » que le foyer n'est pas un point mathématique, mais » un point physique qui est l'assemblage de plusieurs » rayons. Lorsque la surface est convexe, les caustiques » sont imaginaires. Ces courbes, ainsi que leurs développées, » ont la propriété d'être rectifiables, lorsqu'elles dérivent » de courbes algébriques ».

133. PROBL. *Étant donnés un point ou un objet quelconque* O, *situé sur l'axe* A O *d'un miroir sphérique quelconque* M A B *concave* (Figures 10 et 11) *ou convexe* (Fig. 12), *et un rayon incident* O M *infiniment proche de l'axe* A O, *trouver le point* F *de l'axe par où passe le rayon réfléchi au point* M.

SOLUTION. Tirez au centre C, de la surface sphérique,

la droite MC, laquelle étant (Elem. 459) perpendiculaire à la surface du miroir, au point d'incidence M, est le cathete d'incidence. L'angle OMG ou CME, est donc l'angle d'incidence; et en faisant CMF = OMG le rayon réfléchi est MD, qui va rencontrer l'axe OA en F.

Pour trouver une expression analytique de AF ou de son égal MF (puisque OM et OA sont infiniment proches): soit OA ou MO, distance de l'objet au miroir, $= \pm d$; ($+d$ quand le miroir est concave, et $-d$ quand il est convexe: ces signes sont ainsi déterminés par la position du rayon incident OM, à l'égard du demi-diametre AC du miroir:) soit AC $= r$, et FA ou FM $= f$. On a donc FC $= r - f$ (Fig. 10 et 12) ou $= f - r$ (Fig. 11), et CO $= -r + d$ (Fig. 10) ou $= r - d$ (Fig. 11) ou $= r + d$ (Fig. 12). Or (Elem. 560) CO : CF :: MO : MF : ou (Fig. 10 et 11) $\mp r \pm d : \pm r \mp f :: d : f$; d'où on tire la formule générale pour les miroirs concaves $f = \frac{dr}{2d - r}$. Et dans la (Fig. 12), dans le triangle CMO, on a (El. 746) CO : MO :: sin. CMO ou FMC : sin. MCO ou MCF; or dans le triangle FMC, on a aussi sin. FMC : sin. MCF :: CF : FM : donc CO : CF :: MO : MF ou $r + d : r - f :: d : f$; d'où on déduit la formule des miroirs convexes $f = \frac{dr}{2d + r}$. De sorte que la formule générale pour toutes sortes de miroirs sphériques est $f = \frac{dr}{2d \mp r}$. *

* *Addition des Éditeurs.* » Soit (*Fig.* 99) AA′ un » miroir convexe de forme sphérique et d'un rayon égal à » AC; DD′ un objet dont les extrémités sont supposées » à égale distance du centre C; FF′ le foyer des rayons » réfléchis par D et D′; FF′ sera la grandeur de l'image » de l'objet. Mais les points F et F′ étant semblablement » situés à l'égard des axes, AC, A′C, donnent la pro- » portion

» FF′ : DD′ :: CF : CD : or CD = AC + AD = $d + r$; CF = AC − AF = $r - f = r - \frac{rd}{2d + r} = \frac{r(d + r)}{2d + r}$;

» donc $\frac{FF'}{DD'} = \frac{(d+r)r}{(2d+r)} \frac{1}{d+r} = \frac{r}{2d+r}$;

» c'est-à-dire que dans le miroir convexe, le rappport de » la grandeur de l'image à celle de l'objet est égal au rayon » divisé par le double de la distance de l'objet, augmenté » du rayon.

» On aura de même dans la (Fig. 100) relative au mi- » roir concave :

FF′ : DD′ :: CF : CD : or, dans ce cas, $CD = AD - AC = d - r$; $CF = AC - AF = r - f = r - \frac{dr}{2d-r} = \frac{r(d-r)}{2d-r}$; » donc $\frac{FF'}{DD'} = \frac{r(d-r)}{(2d-r)} \frac{1}{d-r} = \frac{r}{2d-r}$.

» C'est-à-dire que dans le miroir concave, le rapport de » la grandeur de l'image à celle de l'objet est égal au rayon » divisé par le double de la distance de l'objet diminué » du rayon. On peut renfermer ces deux cas dans une » seule formule $\frac{r}{2d \mp r}$ le signe supérieur étant relatif au » miroir concave, et le signe inférieur au miroir convexe. » Examinons la grandeur de l'image dans les diverses po- » sitions de l'objet, et prenons d'abord le cas du miroir » convexe.

» I. Dans ce cas, le rapport de grandeur de l'image à » l'objet est $\frac{r}{2d+r}$ si l'on suppose $d = o$, il se réduit à » l'unité ; ce qui indique que, l'orsque l'objet est sur le » miroir, l'image est égale à l'objet. Or, si l'on attribue à » d, toutes les valeurs positives depuis o jusqu'à ∞, on voit » que ce rapport décroîtra depuis 1 jusqu'à o, c'est-à-dire » que l'image décroît sans cesse depuis une quantité égale » à l'objet, jusqu'à devenir infiniment petite.

« De plus, les rayons qui arrivent divergens, se réflé- » chissant plus divergens, ils n'ont qu'un point de con- » cours fictif et que l'œil attribue à leur prolongement der- » rière le miroir, et où il rapporte la position apparente » de l'objet ; ces rayons arrivent donc aussi à l'œil dans

» le même ordre que leur incidence, ce qu'on exprime » en disant que l'image est droite et imaginaire.

» II. Considérons actuellement la grandeur de l'image » dans le miroir concave: la formule $\frac{r}{2d-r}$ qui exprime » le rapport de grandeur de l'image à l'objet dans ce der- » nier miroir, fait voir que, si l'on suppose $d=o$, le » rapport se réduit à -1, c'est-à-dire que l'image est » égale à l'objet, et est située derrière le miroir lorsque » l'objet est sur le miroir.

» Depuis $d=o$ jusqu'à $d=\frac{r}{2}$ ce rapport est toujours » négatif, et croît depuis -1 jusqu'à ∞, c'est-à-dire » que l'image croît depuis une quantité égale à l'objet » jusqu'à devenir infiniment grande: entre ces deux li- » mites $d=o$ et $d=\frac{r}{2}$, les rayons qui arrivent di- » vergens, se réfléchissent moins divergens, sans néan- » moins devenir convergens; l'image est donc située der- » rière ce miroir, ainsi que le calcul le fait voir, et les » rayons réfléchis n'ayant qu'un point de concours fictif, » l'image est droite et imaginaire.

Depuis $d=\frac{r}{2}$ jusqu'à $d=\infty$, le rapport est tou- » jours positif, et décroît depuis l'infini jusqu'à zéro; » c'est-à-dire que l'image est située devant le miroir, et » décroît depuis une quantité infiniment grande jusqu'à » devenir infiniment petite. De plus les rayons qui ar- » rivent divergens, se réfléchissant convergens de- » puis $d=\frac{r}{2}$ jusqu'à $d=\infty$, les rayons ont un point » de concours réel devant le miroir; donc l'image est réelle, » droite ou renversée selon que l'œil est placé entre le » miroir et le point de concours des rayons réfléchis ou » au-delà de ce point ».

134. REMARQUE I. Cette formule ne donne exactement la valeur de AF qu'autant que le rayon incident OM est

très-proche de l'axe OA, ou que la surface AM du miroir comprise entre le rayon incident et l'axe AO, qui passe par l'objet O, est une plus petite partie de la surface totale de la sphère : ainsi MF (Fig. 10 et 12.) étant toujours (Elem. 546) plus grand que AF, plus le rayon incident OM tombe loin du point A, plus le rayon réfléchi MF va rencontrer l'axe AF proche du point A.

135. REM. II. On peut à l'aide de la Trigonométrie rectiligne calculer rigoureusement la valeur de AF, en connoissant celle de l'arc AM. Car dans le triangle OCM, on connoît OC, CM, et l'angle MCO mesuré par AM: on peut donc (Elem. 760) en conclure les angles COM, CMO et le côté MO. Ensuite dans le triangle FMO où a MO, l'angle FOM, et l'angle FMO double (ou supplément du double, Fig. 12) de l'angle CME; on aura donc par le calcul le côté OF, et par conséquent AF.

Si le rayon incident OM étoit parallele à l'axe OA; c'est-à-dire, si l'objet étoit à une distance infinie, l'angle EMC seroit égal à l'angle FCM, et le triangle CMF seroit isoscele, ses deux angles égaux étant mesurés chacun par l'arc AM. soit, par exemple, CM = 6 pieds, et l'arc AM de 1 degré, on trouvera FA de 2,99964 pieds. Si AM est de 10 degrés, on aura AF de 2,95372 pieds : si AM est de 30 degrés, alors AF est de 2,53589 pieds.

136. COROL. I. Puisque toute la lumiere qui part de l'objet O, et qui tombe sur le miroir à peu de distance du point A, va dans les miroirs concaves passer par le point F de l'axe, ou du moins fort près de ce point F, il suit delà qu'il doit se former au point F une image sensible de l'objet O. Dans les miroirs convexes la réflexion disperse les rayons qui partent du point O, et les dirige de sorte qu'ils concourent au point F, et que la lumiere réfléchie qui entre dans l'œil fait voir l'objet vers F.

137. COROLL. II. Puisque l'image de l'objet O est placée sur l'axe de la sphere qui passe par ce point O, il suit que s'il se rencontre quelque obstacle qui empêche de tirer une droite de l'objet au centre de la sphere, il ne peu

se former d'image de l'objet. De même, dans quelque endroit qu'un œil se place pour voir son image dans un miroir, il ne la voit que dans une ligne qui passe par le centre du miroir.

138. REM. III. Si l'objet O envoie des rayons de lumiere en assez grande quantité pour exciter une chaleur sensible sans être réunis, tels que sont ceux du Soleil, d'un flambeau, d'un charbon, etc. il est clair qu'étant réunis par le moyen d'un miroir concave, ils doivent produire une chaleur proportionnelle à leur densité et à la chaleur particuliere des rayons incidens. Et c'est là d'où vient le nom de *foyer* au point de réunion.

ARTICLE II.

Du Lieu, de la Situation et de la Marche des Images par réflexion.

139. EN faisant différentes suppositions sur les différentes distances auxquelles un objet exposé à la surface réfléchissante d'un miroir sphérique, peut en être éloigné, on trouvera facilement le lieu de son image par le moyen de la formule générale de l'article précédent. Supposons donc un objet qui étant placé sur la surface d'un miroir s'en écarte ensuite jusqu'à l'infini.....

140. I°. *Quand la distance au miroir est infiniment petite, l'image est infiniment proche derriere le miroir.*

Car à cause de $\pm d = \frac{1}{\infty}$, $f = \frac{dr}{2d \pm r}$ devient $f = \frac{1}{\pm\infty}$. Le signe — fait voir que pour le miroir concave l'image est du côté opposé à la direction du demi-diametre de concavité qu'on a supposé $= +r$: et par conséquent elle est derriere le miroir : et le signe + fait voir que pour le miroir convexe, l'image est du côté du centre de convexité, dont le demi-diametre a été supposé $= +r$. Et comme il est évi-

dent que quelque valeur qu'on suppose à d dans la formule $f = \frac{dr}{2+d}r$, la valeur de f ne peut devenir négative, il suit que *dans le miroir convexe, l'image est nécessairement du côté du centre de convexité, à quelque distance qu'on suppose l'objet :* ce qu'il faut remarquer pour toute la suite de cet article.

141. II°. *A mesure que la distance de l'objet au miroir croît depuis* o *jusqu'à une quantité égale au quart de l'axe de la sphéricité ou à la moitié du demi-diametre, l'image s'éloigne derriere le miroir. Dans le concave, elle s'éloigne depuis* o *jusqu'à* ∞, *et dans le convexe depuis* o *jusqu'à* $\frac{1}{3}$ *de l'axe.* Car 1°. en supposant d plus petit que $\frac{1}{2}r$, ou $2d$ plus petit que r, on voit que $2d - r$ est une quantité négative; donc dans le miroir concave f est aussi négatif, et l'image derriere le miroir. 2°. Mais si on fait $d = \frac{1}{2}r$, la formule du miroir concave devient $f = \frac{\frac{1}{2}rr}{0} = \infty$, ce qui fait voir que *l'objet étant placé à une distance égale au quart de l'axe l'image en est infiniment éloignée ;* ou ce qui est la même chose, *les rayons de lumiere qui vont de l'objet au miroir, s'y réfléchissent parallélement entr'eux ;* ils ne peuvent par conséquent se réunir qu'à une distance infinie du miroir. Mais parce qu'on n'a pas plus de raison de supposer que des paralleles se réunissent à l'infini, plutôt vers une de leurs extrémités que vers l'autre, et que par conséquent on est en droit de supposer qu'étant prolongées de part et d'autre à l'infini, elles s'y réunissent de part et d'autre, il suit que dans le cas dont il s'agit ici, c'est-à-dire, que lorsque l'objet est situé à la distance de $\frac{1}{2}$ de l'axe d'un miroir concave, son image en est infiniment éloignée tant en-deçà du miroir qu'au-delà.

142. A l'égard du miroir convexe, on voit qu'en supposant $-d = \frac{1}{2}r$, on a $f = \frac{1}{4}r$.

143. III°: *La distance de l'objet au miroir croissant depuis* $\frac{1}{4}$ *de l'axe jusqu'à* $\frac{1}{3}$ *de l'axe c'est-à-dire,*

jusqu'à une distance égale au demi-diametre de sphéricité, l'image dans le miroir concave est en-decà; elle s'approche du miroir depuis l'infini jusqu'à parvenir au centre : et dans le miroir convexe, l'image s'écarte derriere le miroir depuis $\frac{1}{8}$ de l'axe jusqu'à $\frac{1}{6}$.

Car on voit que tant que d sera plus grand que $\frac{1}{2}r$, ou $2d$ plus grand que r, la formule du miroir concave ne peut devenir négative; ainsi l'image sera toujours du côté de la concavité: et si on met la formule en proportion $d : 2d - r :: f : r$; à cause de d plus grand que $\frac{1}{2}r$ et moindre que r, l'antécédent d est plus grand que le conséquent $2d - r$; donc f est plus grand que r, (Elem. 306): donc l'image est au-delà du centre. Et si $d = r$, alors $2d - r = d$, et $f = r$ Donc *dans le miroir concave, l'objet étant au centre, l'image y est aussi;* au lieu que dans le miroir convexe, faisant $-d = r$, on a $f = \frac{1}{3}r$.

144. De-là on voit pourquoi en plaçant son œil devant un miroir concave entre le $\frac{1}{4}$ de l'axe et le centre, on n'en peut voir l'image en aucune maniere; elle est derriere l'œil, elle est à l'infini quand l'œil est au $\frac{1}{2}$ de l'axe, et elle vient de l'infini au centre où elle se confond avec l'œil, tandis que l'œil s'écarte depuis le $\frac{1}{4}$ de l'axe jusques au centre: l'œil et son image étant ainsi réunis, tout est confus dans le miroir parce que l'œil s'y voit par-tout.

145. IV. *La distance de l'objet au miroir croissant depuis le demi-diametre de sphéricité jusqu'à l'infini, l'image s'avance vers le miroir concave, depuis le centre jusqu'au $\frac{1}{4}$ de l'axe, et s'éloigne derriere le miroir convexe depuis $\frac{1}{6}$ jusqu'à $\frac{1}{4}$ de l'axe.* Car alors r étant plus petit que d, dans la proportion $d : 2d - r :: f : r$ l'antécédent d est plus petit que le conséquent $2d - r$: donc f est plus petit que r. Et si on fait $d = \infty$, la formule générale devient $f = \frac{1}{2}r$.

146. Théorème. *Si un arc de cercle* OPQ (F. 13 et 14) *concentrique à un miroir sphérique* BAD *sert d'objet exposé à ce miroir;* 1°. *l'image* opq *est aussi*

un arc de cercle concentrique ; 2°. le rayon de cette image circulaire est plus ou moins grand, et par conséquent (Elem. 581) *l'image elle-même est plus ou moins grande, selon que l'image sera plus loin ou plus près du centre* C *du miroir. 3°. Cette image sera droite ; c'est-à-dire, sa situation sera la même que celle de l'objet, tant que l'image et l'objet seront du même côté, par rapport au centre du miroir : au contraire, l'image sera renversée, ou dans une situation opposée à celle de l'objet, si le centre* C *se trouve entre deux.*

Car puisque O P Q est concentrique à B A D, les droites O B, P A, Q D, qui passent par le centre C, et sur lesquelles sont situées les images *o*, *p*, *q*, des points O, P, Q, sont égales entr'elles : donc *d* qui exprime leur valeur dans la formule générale, est une quantité constante, aussi bien que *r* : donc *f* est aussi une quantité constante ; c'est-à-dire, que les droites *o* B, *p* A, *q* D sont égales. Donc *opq* ; OPQ, BAD, sont des arcs concentriques.

147. Cela posé, il est évident 1°. que lorsque l'image et l'objet sont du même côté, par rapport au centre, comme dans la Fig. 14, l'image est située de la même maniere que l'objet ; puisque chaque point de l'image est sur le même demi-diametre qui passe par le point correspondant dans l'objet. Mais que si l'image est au-delà du centre, à l'égard de l'objet, (Fig. 13) les droites sur lesquelles sont les images de chaque partie de l'objet passant nécessairement par le centre du miroir, celles qui étoient parties d'un point pris au-dessus de l'axe qui passe par le milieu de l'objet, se trouvent au-dessous, après avoir passé par le centre, et réciproquement. Donc si une de ces droites qui sont au-dessus de cet axe, part de la partie supérieure de l'objet laquelle est par conséquent située au-dessus de l'axe, l'image de cette partie doit être au-dessous, parce qu'elle ne se forme sur cette droite qu'après que cette droite a passé par le centre : donc cette image est renversée à l'égard de l'objet.

148. 2°. Il est évident aussi que l'image totale d'un objet

ant renfermée entre les lignes qui concourent au centre, le doit être d'autant plus petite, qu'elle est plus près du centre du miroir, et réciproquement.

149. COROLL. I. *Dans le miroir convexe, l'image d'un objet formé en arc concentrique au miroir est toujours droite;* puisqu'elle est toujours en-deçà du centre aussi bien que l'objet; *et elle décroît à mesure que l'objet s'éloigne,* puisqu'elle s'approche de plus en plus du centre. *Dans le miroir concave, l'image est droite et va en croissant, à mesure que l'objet va de la surface du miroir au $\frac{1}{4}$ de l'axe; elle décroît et est renversée lorsque l'objet va du quart de l'axe au centre; elle croît ensuite, et est encore renversée à mesure que l'objet va du centre jusqu'à l'infini.* Il faut remarquer, principalement dans ce dernier cas, que si l'objet n'augmente pas, mais s'il prend seulement une figure concentrique, à mesure qu'il s'éloigne, son image doit décroître à proportion.

150. COROLL. II. *Plus le rayon de la sphéricité du miroir sera petit, plus les images seront petites; toutes choses d'ailleurs égales.*

151. REMARQUE. Ce Théorême ne peut s'appliquer rigoureusement à toutes sortes d'objets exposés à un miroir sphérique : cependant en les supposant assez petits pour qu'on puisse prendre leur largeur pour un arc concentrique au miroir, on pourra à l'aide de ce qui a été expliqué dans cet article, faire entendre 1°. pourquoi les images des objets exposés à un miroir sphérique, sont tantôt plus, tantôt moins grandes que les objets. 2°. Pourquoi elles sont tantôt droites et tantôt renversées. 3°. Pourquoi elles paroissent se rapprocher de l'objet, quand l'objet s'éloigne du miroir concave, etc.

152. On voit aussi que les images des objets dont la surface n'est pas sphérique-concentrique, doivent être d'autant plus défigurées ou d'autant moins semblables aux objets, que leur surface est plus grande, et que le demi-diametre de sphéricité du miroir est plus petit. Car, par exem-

ple, une ligne droite exposée à un miroir sphérique, doit avoir une image courbe, parce que les points de cette ligne droite étant à inégales distances du miroir, les images de ces points en sont aussi à inégales distances; mais ces inégalités ne sont pas dans un même rapport. Ces images sont aussi d'autant plus défigurées que l'objet est plus près du quart de l'axe du côté du miroir concave; car alors les images sont fort grandes; et un peu plus ou un peu moins de distance au miroir dans les différentes parties de l'objet, cause de grandes différences de distance et de grandeur dans les images de ces parties.

ARTICLE III.

Application de la théorie précédente aux Miroirs plans.

153. IL est aisé de déduire de la formule générale les propriétés des miroirs plans, en supposant que ce sont des miroirs sphériques, dont le demi-diamètre de sphéricité est infini; c'est-à-dire, en faisant $r = \infty$. Alors la formule $f = \frac{dr}{2d - r}$ devient $f = -d$. Ce qui fait voir que *les images qu'on voit par le moyen des miroirs plans, sont toujours autant au-delà du miroir que l'objet est en-deçà, qu'elles sont toujours droites.* Et parce que, dans les miroirs sphériques, l'image de chaque point d'un objet est dans la droite qui passe par ce point et par le centre, laquelle est par conséquent perpendiculaire à la surface du miroir; *l'image de chaque point d'un objet placé devant un miroir plan, est dans la perpendiculaire tirée de ce point, sur la surface du miroir.* Enfin, à cause que les perpendiculaires tirées des extrémités de l'objet sur le miroir, sont paralleles entr'elles, et ne peuvent par conséquent se réunir qu'à une distance in-

ligne où est le centre de sphéricité du miroir, *les images comprises entre ces droites, sont égales à l'objet dans toutes leurs dimensions.* ★

★ *Addit. de l'Édit.* » Soit D D′ (Fig. 101) un objet, et » A B, un miroir plan ; O le point où l'œil est placé » l'angle d'incidence étant égal à l'angle de réflexion, les » angles D M A et F M A formés par les rayons inci- » dens et réfléchis sont égaux : donc les triangles A M F » et A M D sont parfaitement égaux: donc A F = A D, » c'est-à-dire, que les rayons réfléchis à l'œil ou leurs pro- » longemens se rencontrent à une distance du miroir égale » à celle de l'objet, sur la perpendiculaire même de l'objet » sur le miroir; il en est de même des rayons partis de D′: » donc l'image de l'objet est située derrière le miroir à une » distance égale à celle de l'objet, elle est droite, puisque » les rayons se réfléchissent dans le même ordre qu'ils ar- » rivent sur la surface.

» Or, les lignes D F et D′ F′ étant égales et parallèles, » il est évident que D D′ = F F′ c'est-à-dire que l'image » est égale à l'objet. Si l'objet D D′ étoit incliné à l'égard » du miroir, cela auroit encore lieu, puisque l'on auroit » de part et d'autre du miroir des trapezes parfaitement » égaux, au lieu d'avoir des rectangles A D D′ M et » A F F′ M ».

154. On pourroit par de semblables raisonnemens déduire les autres propriétés générales des miroirs plans ; mais comme ces sortes de miroirs sont d'un usage plus familier que les autres, il est à propos d'entrer ici dans quelque détail.

155. THÉORÈME I. *Dans un miroir plan placé horizontalement, les objets droits paroissent renversés, et réciproquement. Si le miroir est incliné, tous les objets paroissent inclinés en sens contraire. Si le miroir est incliné de 45°, les objets posés verticalement, paroissent posés horizontalement, et les objets horizontaux paroisent verticaux, etc.*

Tout ceci est une suite de ce que les parties d'un objet les

plus voisines du miroir ont leurs images au-delà du miroir, les plus proches aussi du miroir; et les parties d'un objet les plus éloignées du miroir, ont leurs images plus loin derriere le miroir. En faisant des figures particulieres pour tous les cas énoncés dans le Théoreme, on en trouvera facilement la démonstration.

156. THÉORÈME. II. *La droite de l'image d'un objet vu dans un miroir, paroît à la gauche; et la gauche paroît à la droite.*

C'est une suite de ce que les images sont posées de la même maniere que les objets : les images des parties à droite sont à droite, etc. Or, quand nous regardons une personne en face, sa droite est vis-à-vis de notre gauche, et réciproquement. Etant accoutumés de voir ainsi les objets sans miroir, lorsque nous voulons porter la main à gauche, en nous regardant dans un miroir, nous la portons à droite: au lieu de la porter en avant, nous la portons en arriere, de sorte qu'il faut une habitude particuliere pour s'aider d'un miroir.

157. THÉORÈME. III. *L'image d'un objet posé parallélement à la surface d'un miroir plan, paroît n'occuper dans le miroir qu'un espace égal à la moitié de celui que l'objet occupe.*

DÉM. Soit AB (Fig. 15) une dimension quelconque d'un objet parallele au miroir IG; soit *ab* l'image de AB: d'un point quelconque P, pris sur AB, tirez P*a*, P*b*; il est clair que IE est la partie du miroir occupée par l'image *ab*, et qu'à cause que IG est précisément au milieu entre AB et *ab*, la partie IE n'est que la moitié de *ab* ou de AB.

158. SCHOLIE. Ainsi pour se voir tout entier dans un miroir posé verticalement, il faut que ce miroir ait au moins la moitié de la hauteur et de la largeur de celui qui s'y regarde en se tenant de bout; de sorte que si un spectateur de bout ne peut voir qu'une partie de son image dans un miroir posé verticalement, parce que le reste est caché par les bordures, il ne pourra jamais en voir davantage, soit qu'il s'éloigne ou qu'il s'approche du miroir.

159. THÉORÈME. IV. *Si un miroir tourne sur un axe, le mouvement angulaire des images est double de celui du miroir.*

DÉM. Soit AB (Fig. 17) la situation du miroir, OE un rayon incident, EF le rayon réfléchi : que le miroir tourne ensuite sur un axe qui passe par le point E, et prenne la situation CD ; alors le rayon incident OE aura EG pour rayon réfléchi. Je dis que l'angle FEG qui exprime le mouvement angulaire ou la quantité dont le rayon réfléchi EG s'est écarté de sa premiere situation EF, est double de AEC, qui est le mouvement angulaire du miroir. Car le cathete d'incidence est toujours au milieu entre le rayon incident et le rayon réfléchi ; et comme il est toujours perpendiculaire au miroir, il a le même mouvement angulaire que le miroir. Si donc le mouvement angulaire du miroir le porte vers le rayon incident, il en écarte d'autant le cathete ; et en même tems le rayon réfléchi s'écarte du cathete de la même quantité, afin que ce cathete reste au milieu. Donc le rayon incident se trouve écarté du rayon réfléchi d'une quantité double du mouvement angulaire du miroir.

160. SCHOLIE. Si on fait faire un quart de cercle à un miroir, le rayon réfléchi décrira un demi-cercle. Et c'est par cette raison qu'on fait aller si vîte les images du Soleil présenté au miroir ; de même les images du Soleil réfléchies par une eau presque dormante, paroissent toujours très-agitées, sur-tout lorsqu'elles sont reçues un peu loin du point d'incidence, etc.

161. THEORÈME. V. *Les miroirs faits avec une glace dont la surface postérieure est étamée, présentent deux images d'un même objet, l'une antérieure et foible, l'autre plus éloignée et plus vive et la distance de ces deux images est égale au double de l'épaisseur de la glace.*

Cette apparence vient de ce que la surface antérieure de la glace étant solide et polie, est elle-même un miroir, qui en renvoyant tous les rayons qui ne traversent pas la

glace, forme une foible image de l'objet. Cette foible image est d'autant plus sensible, qu'on regarde plus obliquement; car quand on regarde perpendiculairement, elle est couchée et comme confondue avec la vive image formée par la surface étamée. Si d exprime la distance de l'objet à la surface antérieure, et e l'épaisseur de la glace, la distance de l'objet à l'image vive sera (153) $= 2d + 2e$, et celle de l'image foible à l'objet ne sera que $= 2d$.

162. THÉOR. VI. *Tant de miroirs plans qu'on voudra, posés dans un même plan, ne peuvent donner qu'une image d'un même objet.*

Car tous ces miroirs ne font alors l'effet que d'un seul miroir; et parce que l'image paroît toujours sur le cathete d'incidence tiré de l'objet; comme on ne peut mener d'un point qu'une seule perpendiculaire sur un plan (El. 634.), on ne peut donc former qu'une seule image.

163. THÉOR. VII. *Si un œil est en* I (Fig. 16), *au dedans d'un angle quelconque* A B C, *formé par deux miroirs plans* A B, B C, *il verra autant d'images d'un objet* O, *placé aussi en dedans de cet angle, qu'on pourra abbaisser successivement de l'objet et de chacune de ses images, des perpendiculaires sur chaque miroir en-deça de l'angle* B.

DÉM. 1°. Ayant abbaissé de l'objet O le cathete O D sur le miroir B C, et pris N D $=$ N O, le point D sera le lieu d'une image : car si de l'œil I on tire I D et si par g, où elle rencontre le miroir, on mene g O, ce sera le rayon incident dont I g sera le réfléchi, par lequel l'œil voit l'image qui est en D, à cause des triangles rectangles égaux D g N, O g N, qui donnent l'angle O g N $=$ D g N $=$ B g I. 2°. Si du point D on abbaisse sur le miroir A B, la perpendiculaire D E, prenant k E $= k$ D, le point E est le lieu d'une seconde image, dont l'image en D tient lieu de l'objet. Car à cause de O N $=$ N D, et des triangles égaux O N f, D N f, le rayon incident O f se réfléchit en $f i$; et à cause des triangles rectangles égaux D k i, E k i, le rayon $f i$ se réfléchit en i I, et arrive par conséquent à l'œil en I.

3°.

5°. Si du point E on abbaisse sur le miroir B C le cathete E Q, et si on prend Q F = E Q, le point F sera le lieu d'une troisieme image, dont l'image en E tient lieu de l'objet. Car à cause des triangles rectangles égaux O *d* N, N D *d*: D *rk*, *rk* E; F Q *b*, *b* Q E, on voit que le rayon incident O *d* se réfléchit en *dr*, puis en *rb*, enfin en *b* I, où il arrive à l'œil. 4°. Si du point F on abbaisse une perpendiculaire sur le miroir A B, on trouvera qu'elle passe au-delà en F G, et que par conséquent il n'y a plus de cathete d'incidence ni d'image.

164. On fera voir de même qu'il y a en H une image de l'objet O, vue par le rayon I *h*, réfléchi du rayon incident O *h*: qu'il y en a une seconde en K, vue par le rayon *c* I, réfléchi de *c t*, réfléchi du rayon incident O *t*: qu'il y en a une troisieme en L, vue par le rayon incident O *l*, réfléchi en *l a*, puis en *a k*, ensuite *k* I. Qu'enfin il ne peut y en avoir davantage, parce que la perpendiculaire L M abbaissée de la derniere image, tombe en dehors du miroir.

165. COROLL. I. Il est aisé de voir par la construction, qu'*une premiere image se voit par un rayon réfléchi, une seconde par deux, une troisieme par trois*, etc.

166. COROLL. II. *La distance de chaque image à l'œil, est égale à la somme de son rayon incident, plus ses rayons réfléchis.* Par exemple, I F = O *d* + *dr* + *rb* + *b* I. Car I F = I *b* + *b* F, *b* F = *b* E = *br* + *r* E, et *r* E = *r* D = *rd* + *d* D, enfin *d* D = *d* O: donc I F = I *b* + *br* + *rd* + *d* O. Ainsi *les images s'éloignent à mesure qu'elles se répetent.*

167. COROLL. III. *La premiere image est plus vive que la seconde, la seconde plus que la troisieme, et ainsi de suite*; tant parce que l'intensité de la lumiere décroît dans toute cette marche, que parce qu'il se perd une quantité prodigieuse de rayons à chaque réflexion.

168. COROLL. IV. *Plus l'angle des deux miroirs sera grand, moins il pourra y avoir d'images.* Car les cathetes d'incidence s'écartant les uns des autres, par un mouvement angulaire égal à celui des miroirs qu'on écarte,

ils se portent de plus en plus vers le sommet de l'angle des miroirs, et tombent successivement en dehors, où ils ne peuvent plus contenir des images. Ainsi, *plus on ouvre l'angle formé par deux miroirs, plus les images paroissent s'approcher de cet angle, pour se confondre, puis se cacher derriere:* en sorte que lorsque l'angle des miroirs est devenu droit, il ne peut y avoir plus de deux images, savoir, une sur chaque miroir; et que quand il est devenu infiniment obtus, il ne peut plus y en avoir qu'une, parce que (162) le nombre des images dépend toujours du nombre des perpendiculaires qu'on peut abaisser de l'objet ou des images de l'objet sur les deux miroirs.

169. COROLL. V. *Si deux miroirs sont paralleles et infiniment étendus, l'objet a une infinité d'images;* mais elles vont toujours en s'éloignant et en s'affoiblissant, de sorte qu'elles ne sont bientôt plus sensibles.

ARTICLE IV.

Des miroirs Cylindriques, Coniques, etc.

170. LEs miroirs cylindriques, coniques, prismatiques et pyramidaux ne sont guere que de pures curiosités; ils servent à défigurer les objets auxquels on les présente, ou à faire paroître réguliere l'image d'un objet défiguré exprès.

171. Les miroirs prismatiques et pyramidaux n'étant que des miroirs plans verticaux et inclinés, ils n'ont pas besoin d'une explication particuliere, Les cylindriques doivent être considérés comme un assemblage de miroirs en partie plans et droits, en partie sphériques; et les coniques sont des miroirs en partie plans et inclinés, et en partie sphériques : de sorte qu'en combinant les propriétés des miroirs plans avec celles des sphériques, on concevra

isément les raisons des dépravations des images régulieres; t réciproquement.

172. Par exemple, un objet régulier étant présenté verticalement devant un miroir cylindrique, posé aussi verticalement, on voit que toutes les dimensions verticales de l'objet ne doivent pas être défigurées, à quelque distance du miroir que l'objet soit, puisque ces dimensions se présentent devant des miroirs plans et verticaux; mais que les dimensions horizontales doivent être défigurées, à proportion qu'elles sont plus ou moins éloignées d'être concentriques au miroir, et qu'elles en sont à des distances plus inégales (152), puisque ces dimensions se présentent à des miroirs sphériques. Ainsi les images des différentes parties de cet objet, étant les unes régulieres, les autres dépravées, leur assemblage fait une figure très-irréguliere et méconnoissable.

173. Voici une maniere de dessiner sur un plan un objet défiguré, de sorte qu'en posant verticalement et en un endroit marqué sur ce plan, un miroir cylindrique, d'un rayon donné, cet objet paroisse droit et régulier, vu d'un point donné.

Sur un plan à part on dessine cet objet régulièrement et selon toutes les dimensions qu'il doit avoir; en sorte cependant que sa plus grande largeur n'excede pas la longueur de la corde d'un arc de 130 à 140 degrés du cylindre. On renferme ce dessein dans un parallélogramme (Fig. 18) rectangle AFK*a* (qu'on appelle *le Ponsif.*) On divise ce rectangle en plusieurs petits quarrés ou autres rectangles égaux, afin de partager le dessein en plusieurs petites parties. Sur le plan donné on décrit la place où la base du cylindre doit être posée; c'est une portion de cercle F T K (Fig. 19) dont le rayon doit être égal à celui de la base du cylindre, et on y porte une corde FK, égale au côté FK du Ponsif, qui répond au pied de la figure dessinée. On divise aussi la corde FK comme la droite FK du Ponsif. Par le milieu H de la corde FK, on tire une perpendiculaire HO, qu'on termine en O, au point au-dessus duquel on veut que l'œil soit placé, pour regarder le cylindre. Du

point O, on tire par les divisions de la corde FK, des droites indéfinies OA', Og', Oh', Oi', Ok', sur l'une desquelles, comme OF, on éleve une perpendidulaire OV, égale à la hauteur à laquelle on veut que l'œil soit au-dessus du point O, c'est-à-dire, au-dessus du plan du dessein défiguré. Sur la même droite OF, et en partant du point F, où elle coupe KF, on éleve une perpendiculaire FA, égale au côté AF du Ponsif, et divisée comme lui. Par V, et par les points de division de FA, on tire des droites indéfinies VF, VE', VD', VC', VB', VA', qui vont rencontrer la droite OA', en des points par lesquels on mene à FK les paralleles Ee', Dd', Cc', Bb', Ak', et l'on a, selon les Loix de la perspective, un trapeze KFA'k', qui est la perspective du Ponsif AK, vu du point où l'œil doit être placé pour voir l'objet dans le cylindre, c'est-à-dire, vu d'un point élevé au-dessus de O d'une quantité égale à OV.

Par le centre Q de l'arc FTK du pied du cylindre, et par les points d'incidence F, S, T, K, où les droites ou rayons OF, OG, OI, OK, rencontrent cet arc, on mene les cathetes d'incidence QL, QP, QR, QX, puis les droites indéfinies Fa, Sg, Ti, Kk, qui fassent les angles aFL = OFL, gSP = OSP, iTR = OTR et kKX = OKX, et qui sont (133) les rayons réfléchis. Sur ces droites ou rayons réfléchis, on porte les divisions des droites correspondantes du trapeze perspectif, c'est-à-dire, des droites FA', Sg', Mh', Ti', Kk'; et par tous les points trouvés de la sorte, on fait passer des courbes qui sont presque des arcs de cercles concentriques, dont le centre est en H, et qui représentent les droites Aa, Bb, Cc, Dd, Ee, FK du Ponsif, de même que Fa, Gg, Hh, Ii, Kk représentent les côtés FA, Gg, Hh, Ii, Ka, du Ponsif, et qu'enfin chacun des espaces ou trapezes mixtilignes représentent les petits quarrés ou rectangles du Ponsif. Si donc on place le cylindre sur l'arc FTK, et l'œil au point de vue déterminé, on verra dans le cylindre une image réguliere du Ponsif. Et par conséquent en rapportant sur

chaque trapeze mixtiligne les parties de la figure dessinée dans chaque quarré ou rectangle correspondant dans le ponsif, on aura la figure dépravée qu'on demande.

CHAPITRE III.

De la Dioptrique.

ARTICLE PREMIER.

Des Images ou des Foyers par une simple réfraction.

174, PROB. *Etant donnés un objet* O (Fig. 20 et 21) *de position à l'égard d'une surface réfringente-sphérique* BAI, *d'un rayon de sphéricité donné* AK, *et le rapport du sinus d'incidence à celui de l'angle brisé, trouver le lieu* P *de l'image formée par la réfraction.*

Soit le rapport donné comme p à q. Par l'objet O et par le centre K, menez une droite indéfinie OA, pour être l'axe de sphéricité qui passe par l'objet O. Soit un rayon incident OI, infiniment proche de l'axe OA; tirez du centre K au point d'incidence I, un demi-diametre KI, qui sera le cathete d'incidence. Sur le rayon incident OI, (prolongé s'il est nécessaire,) abaissez du centre la perpendiculaire KG, qui sera le sinus de l'angle d'incidence OIN ou KIG: faites comme p à q, ainsi KG, est à un quatrieme terme, avec lequel comme demi-diametre, décrivez du centre K un arc, auquel on puisse du point I mener une tengente IH, qui ira couper l'axe AO au point cherché P. Car en abbaissant une droite KH au point de contact, on voit qu'elle est le sinus de l'angle KIP, lequel par conséquent est l'angle brisé du rayon incident OI. Et parce qu'on a la même construction pour tous les rayons

qui tombent du point O sur la surface du verre, infiniment près du point A, il suit qu'ils se brisent, de sorte qu'ils sont tous dirigés au point P, où est par conséquent le foyer ou l'image.

175. Pour avoir une expression analytique de AP (Fig. 20), soit OA ou OI $= d$, le rayon de sphéricité KI ou AK $= r$: soit AP ou IP $= f$. Par la construction précédente $p : q :: KG : KH$; donc $KG = \frac{p \times KH}{q}$. Or en supposant OI infiniment proche de OA, l'arc AI, n'est qu'une droite perpendiculaire à l'axe OA; les triangles rectangles AOI, OKG sont semblables, aussi bien que PAI, PKH: Donc $OK : OI :: KG$ ou $\frac{p \times KH}{q} : AI = \frac{OI \times p \times KH}{OK \times q}$. Et $KH, AI :$ ou $\frac{OI \times p \times KH}{OK \times q} :: PK : PI$ ou PA. Donc $PA = \frac{OI \times p \times PK}{OK \times q}$. Et substituant les valeurs analytiques, pour en déduire la valeur de f, on trouve $f = \frac{dpr}{dp - q(d + r)} = \frac{dpr}{d(p-q) - rq}$ pour la formule qui convient à un objet placé du côté de la convexité. Pour la réduire à celle qui convient à un objet placé du côté de la concavité, il faut remaquer qu'alors le rayon de concavité (Fig. 21) est dans une situation opposée à celle qu'il a lorsque l'objet est vers la convexité; donc il faut faire r négative, ou substituer $-r$ dans les formules précédentes qui deviendront $f = \frac{dpr}{d(q-p) - rq} = \frac{dpr}{q(d-r) - dp}$.

176. On peut faire sur l'exactitude de ces formules, et sur les images qu'elles donnent, les mêmes réflexions que ci-dessus (135). On peut même y appliquer le théorême du n°. 146 avec sa Démonstration et ses Corollaires, ce qu'on supposera pour la suite.

ARTICLE II.

De la Marche des Images, qui répond à celle d'un objet, dans le passage de la lumiere de l'air dans le Verre, et réciproquement.

COmme l'usage le plus important de la Dioptrique est la connoissance des Loix que suit la lumiere, en passant de l'air dans les verres et réciproquement, afin d'avoir une idée exacte de l'effet des Lunettes, Télescopes et Microscopes, nous y appliquerons ici pour exemple les deux formules précédentes.

177. Dans le passage de l'air dans le verre $p = 31$ et $q + 20$; les deux formules de l'article précédent se réduisent donc à $f = \frac{31dr}{11d-20r}$ pour les surfaces convexes, $f = \frac{31dr}{-11d-20r}$ pour les surfaces concaves.

178. Soient deux milieux infiniment étendus, l'un d'air et l'autre de verre, homogenes chacun dans leur espece, séparés seulement par une surface sphérique. Supposons d'abord que cette surface soit convexe du côté de l'air, et qu'un objet lumineux de peu d'étendue y étant placé, il s'en éloigne jusques à l'infini en traversant l'air dans une direction perpendiculaire à cette surface; par la formule $f = \frac{31dr}{-11d-20r}$ on déterminera comme on a fait pour les miroirs sphériques (n°. 140 et suivans), toutes les circonstances de la marche de l'image de cet objet selon les différentes valeurs de la distance d, que nous exprimerons en parties dont r sera pris pour l'unité.

Ainsi tant que d sera entre $d = \frac{1}{\infty} r$ jusques à $d = \frac{11}{20} r$, f sera toujours négatif, et sa valeur croîtra jusques à l'infini, par conséquent l'image sera toujours en dehors du verre ou

du même côté que l'objet, puisque dans le calcul de la formule on a supposé que f positif exprimoit la distance de la surface réfringente à l'image placée en-deça de cette surface par rapport à l'objet : cette image sera aussi toujours droite (149), elle ira en s'éloignant depuis cette surface jusques à l'infini, et les rayons qui pénétrant le verre détermineront le lieu de cette image par le concours de leurs directions, seront de moins en moins divergens jusques à ce qu'ils deviennent paralleles. Depuis cette valeur $d = \frac{11}{20} r$ jusques à $d = \infty r$, f est toujours positif; l'image se forme en dedans du verre et renversée; elle vient de l'infini vers la surface réfringente jusques à la distance de $\frac{31}{11} r$, et les rayons qui pénétrant le verre la formeront, passeront du parallélisme à une convergence de plus en plus grande.

179. Mais si la surface qui sépare les milieux est concave du côté de l'air, alors la formule $f = \frac{31dr}{-11d-20r}$ fait voir que quelle que soit la distance de l'objet à cette surface, ou quelle que soit la valeur de d, on a toujours f négatif, donc l'image est toujours en dehors du verre et droite; et que d croissant depuis $\frac{1}{\infty} r$ jusques à ∞r, f croît depuis l'infiniment petit jusques à $\frac{31}{11} r$: l'image va donc en s'éloignant depuis la surface réfringente jusques à la distance de $\frac{31}{11} r$, et les rayons qui pénetrent le verre sont divergens, mais de moins en moins.

180. Si nous avions suppposé que l'objet fût placé en dedans du verre sur la surface qui sépare les deux milieux, et que sa marche se fût faite aussi en dedans du verre, alors $p = 20$ et $q = 31$, de sorte que la formule pour la surface convexe devient $f = \frac{20dr}{-11d-31r}$ et pour la surface concave, $f = \frac{20dr}{11d-31r}$.

Si donc on suppose l'objet placé d'abord sur une surface convexe, il est clair par un calcul et par un raisonnement semblable aux précédens, que tandis que l'objet s'éloignera à l'infini, l'image sera droite, restera en dedans du verre

t s'écartera de la surface commune jusqu'à la distance $\frac{20}{11}r$, le sorte que les rayons qui passeront dans l'air deviendront de plus en plus divergens.

181. Si enfin l'objet étoit placé d'abord sur une surface concave, la formule $f=\frac{20dr}{11d-31r}$ fait voir que f sera négatif dans toutes les valeurs de d, depuis $d=\frac{1}{\infty}r$ jusques à $d=\frac{31}{11}r$: qu'ainsi l'image sera droite en dedans du verre, et s'éloignera de la surface réfringente jusques à une distance infinie, les rayons qui passeront dans l'air seront de moins en moins divergens jusqu'à ce qu'ils soient devenus parralleles : mais depuis $d=\frac{31}{11}r$ jusques à $d=\infty r$, f sera positif, l'image renversée et s'approchant dans l'air vers la surface réfringente depuis l'infini jusques à la distance de $\frac{20}{11}r$, ainsi les rayons qui entreront dans l'air convergeront de plus en plus.

On peut comme dans cet exemple, suivre la marche de l'image d'un objet par rapport à deux milieux l'un d'air et l'autre d'eau, ou par rapport à deux milieux l'un de verre et l'autre d'eau. *

Grandeur de l'Image.

* *Addition des Editeurs.* » Déterminons la grandeur » de l'image d'un objet dans le passage de la lumiere de » l'air dans le verre.

I. Cas où la surface qui sépare les milieux est convexe » du côté de l'air.

» Soit D D′ (*Fig.* 102.) un objet dont les extrémités » sont supposées très-peu éloignées de l'axe AC; A A′ » la surface qui sépare les deux milieux réfringens, con- » vexe du côté de l'air où l'objet est censé se mouvoir; FF′ » est la grandeur de l'image, déterminée par les points F » et F′, où les rayons partis de D et D′ viennent cou- » per les axes AC, A′C après s'être réfractés. Les triangles » semblables DC D′ et FC F′ donnent la proportion :

» FF′ : DD′ :: CF : CD; d'où $\frac{FF'}{DD'} = \frac{CF}{CD}$,
» rapport de la grandeur de l'image à celle de l'objet.
» Or, $CF = AF - AC = f - r$, $CD = r + d$; su b-
» stituant pour f sa valeur, $f = \frac{31\,dr}{11\,d - 20\,r}$, on a :

» $\frac{FF'}{DD'} = \frac{\frac{31\,dr}{11\,d-20\,r} - r}{r+d} = \frac{20\,r\,(d+r)}{(11\,d-20\,r)(d+r)} = \frac{20\,r}{11\,d-20\,r}$.

» Le rapport de grandeur de l'image à l'objet est donc
» égal à $\frac{20\,r}{11\,d-20\,r}$; si l'on fait $d = 0$, il se réduit à
» l'unité, c'est-à-dire que si l'objet est sur la surface de sé-
» paration des deux milieux, l'image est égale à l'objet.
» Depuis $d = 0$ jusqu'à $d = \frac{20\,r}{11}$, ce rapport croît de-
» puis l'unité jusqu'à ∞; c'est-à-dire, que l'objet allant de la
» surface à une distance $= \frac{20\,r}{11}$, l'image croît depuis une
» quantité égale à l'objet jusqu'à devenir infiniment
» grande: depuis $d = \frac{20\,r}{11}$ jusqu'à $d = \infty$, le rapport dimi-
» nue depuis ∞ jusqu'à 0, et l'image décroît d'une quan-
» tité infiniment grande, jusqu'à devenir une quantité
» infiniment petite.

IIe. Cas où la surface de séparation est concave du côté de l'air.

Soit (*F.* 103.) AA′ une portion de surface sphérique
» dont la concavité est opposée à l'air, et dont le rayon est
» AC, tout le reste ayant la même signification que dans
» la figure (102) on a pareillement: FF′ : DD′ :: CF : CD;
» d'où $\frac{FF'}{DD'} = \frac{CF}{CD}$: or, $CD = AD - AC = d - r$,
» $CF = AF - AC = -f^{*} - r$ et $f = \frac{31\,dr}{-11\,d-20\,r}$;

* f est pris ici négativement, puisqu'il tombe en deça du point A relativement à D.

» donc $\frac{FF'}{DD'} = \frac{-f-r}{d-r} = \frac{31dr-11dr-20r^2}{(d-r)(11d+20r)} = \frac{20r(d-r)}{(d-r)(11d+20r)}$
$= \frac{20r}{11d+20r}$; c'est-à-dire que le rapport de grandeur de
» l'image à l'objet est exprimé par la formule $\frac{20r}{11d+20r}$;
» Si l'on y fait $d=0$, le rapport se réduit à l'unité, c'est-à-
» dire que l'objet étant sur la surface de séparation, l'image
» est égale à l'objet. Depuis $d=0$ jusqu'à $d=\infty$, ce rap-
» port décroît depuis l'unité jusqu'à 0; donc l'objet al-
» lant de la surface à l'infini, l'image décroît depuis une
» quantité égale à l'objet, jusqu'à devenir infiniment
» petite.

Grandeur de l'Image dans le cas où l'objet est placé en dedans du verre et fait sa marche dans ce dernier milieu.

» Ier. Cas où la surface opposée au verre est convexe.
» Soit AA' (*F.*104.) une portion de surface sphérique,
» dont la convexité est tournée vers le milieu du verre, et
» dont le rayon est AC; DD, FF' etc. ont la même
» signification que précédemment: or, (180) $AF=f$
» $= \frac{20dr}{-11dr-31r}$. On FF': DD':: CF: CD. $CD=AC$
» $+AD=d+r$; d'où $\frac{FF'}{DD'} = \frac{CF}{CD} = \frac{-f+r}{d+r} = \frac{31r}{11d+31r}$:
» c'est-à-dire que le rapport de grandeur de l'image à
» l'objet est $\frac{31r}{11d+31r}$. Si l'on fait $d=0$, il se réduit à
» l'unité; c'est-à-dire que l'objet étant sur la surface du
» verre, l'image est égale à l'objet. Depuis $d=0$ jusqu'à d
» $=\infty$, ce rapport décroît depuis 1 jusqu'à 0; c'est-à-dire
» que l'objet allant de la surface des milieux à l'infini,
» l'image décroît depuis une quantité égale à l'objet jus-
» qu'à devenir infiniment petite.

» IIe. Cas où la surface opposée au verre est concave.
» AA' est la surface qui sépare les deux milieux con-

» caves vers le milieu du verre, D D′ l'objet ; F F′ » l'image, etc. comme précédemment, on a (Figure 105 » et Figure 106.) F F′ : D D′ : : C F : C D : » d'où $\frac{FF'}{DD'} = \frac{CF}{CD}$: or, C D = A D — A C = » $d - r$ et (180) A F = $f = \frac{20dr}{11d - 31r}$ et (Fi- » gure 105.) C F = A C + A F = $f + r$. » Fig. (106) C F = $-(f + r)$ qui ne fait que changer de » signe, ce qui n'influe pas sur la grandeur, mais est seule- » ment relatif à la position de C F ; et substituant pour C F » sa valeur, ainsi que pour C D, on a : $\frac{FF'}{DD'} = \frac{-f+r}{d-r} =$ $\frac{\frac{20dr}{11d-31r} + r}{d-r} = \frac{31r(d-r)}{(d-r)(11d-31r)} = \frac{31r}{11d-31r}$; expression du » rapport de grandeur de l'image à l'objet. Si l'on y fait » $d = 0$, il se réduit à -1, c'est-à-dire que, lorsque » l'objet est sur la surface du verre, l'image est égale à » l'objet, elle est sur la surface intérieure du verre : depuis » $d = 0$ jusqu'à $d = \frac{31r}{11}$, ce rapport augmente depuis -1 » jusqu'à ∞ ; c'est-à-dire, que l'objet allant depuis la » surface jusqu'à une distance égale à $\frac{31r}{11}$, voy. F. (105); » l'image croît depuis une quantité égale à l'objet jusqu'à » devenir infiniment grande, elle est toujours dans l'inté- » rieur du verre ; enfin depuis $d = \frac{31r}{11}$ jusqu'à $d = \infty$, » le rapport décroît depuis ∞ jusqu'à 0 ; et par consé- » quent l'image décroît depuis une quantité infiniment » grande jusqu'à devenir infiniment petite, elle est située » dans l'air, droite ou renversée, selon que l'œil reçoit l'im- » pression des rayons avant ou après leur rencontre. On » peut encore remarquer que lorsque $d = \frac{2 \times 31r}{11}$ l'image » redevient égale à l'objet.

» Si la surface qui sépare les deux milieux deve-

» noit un plan, alors le rayon de courbure est in-
» fini, et la formule $f = \frac{dpr}{dp - q(d+r)}$ devient $f = \frac{-dp}{q}$.
» Si on fait $p = 31$ et $q = 20$, $f = \frac{-d31}{20}$; donc ce
» qui est le cas où l'objet se meut dans l'air, l'image est
» plus éloignée de la surface que l'objet dans le rapport
» de 31 à 20 : le rapport de grandeur de l'image à l'objet
» est l'unité, pourvu que d ne soit pas ∞. Dans le cas où
» l'objet est supposé se mouvoir dans le milieu du verre,
» $p = 20$, $q = 31$ et $f = \frac{-20d}{31}$; c'est-à-dire que l'image
» est plus près de la surface que l'objet dans le rapport de
» 20 à 31, elle est du même côté que l'objet ».

ARTICLE III.

Des Images faites par une double réfraction.

DAns l'usage des verres, il y a ordinairement une double réfraction, savoir une à l'entrée, et une autre à la sortie du verre.

182. PROB. I. *Etant données les dimensions d'une Lentille quelconque* AB, (*Fig.* 22) *la position d'un* O *sur l'axe commun de sphéricité des surfaces de la Lentille, dont les centres sont en* C *et en* K, *trouver le point* F *de cet axe, où un rayon* OI, *infiniment proche de l'axe* OA, *va couper cet axe, après deux réfractions, l'une en* I, *et l'autre en* T.

SOLUTION. Soit $OA = d$, $CB = R$, $KA = r$, $FB = x$, $PB = z$, la figure fait voir que le point P est le point de l'axe, où il est rencontré par la direction du rayon incident OI, après la première réfraction en I; soit AB, qui est l'épaisseur de la Lentille $= e$. Soit le rapport des sinus d'incidence et de réfraction à l'entrée de la Len-

tille comme p à q, et à la sortie comme q à p. Soient enfin $CD = m$, $KG = n$. La figure fait encore voir que $p : q ::$ KG ou n : KH $= \frac{nq}{p}$: et que $q : p ::$ CD ou m : CE $= \frac{mp}{q}$.

Cela posé, à cause des triangles rectangles semblables OAI, OKG, on a OG ou OK : OA :: GK : AI, ou $d + r : d :: n :$ AI $= \frac{dn}{d+r}$: et à cause des triangles semblables PAI, PKH, on a PA ou $z + e$: PH ou $z + e - r ::$ AI ou $\frac{dn}{d+r}$: KH ou $\frac{nq}{p}$: mettant en équation $\frac{dnz + den - dnr}{d+r} = \frac{nqz + enq}{p}$; d'où on tirera la valeur de $z = \frac{deq + eqr + dpr - dep}{dp - dq - qr}$. A cause des triangles semblables PCD, PBT, on a PD ou $z +$ R : PB ou $z ::$ CD ou m : BT $= \frac{mz}{z+r}$. Enfin les triangles semblables FCE, FBT, donnent FC ou $x +$ R : FB ou $x ::$ CE ou $\frac{pm}{q}$; BT ou $\frac{mz}{z+R}$ mettant en équation pour avoir une autre valeur de z, on trouve $z = \frac{pRx}{qx + qR - px}$: faisant enfin une équation des deux valeurs de z, afin de pouvoir en conclure la valeur de x, on a, toutes réductions faites,

$$x = \frac{dpqRr + deqqR - depqR + eqqrR}{dppR - dpqR - pqrR - deqq - dpqr + 2depq - depp + dppr - eqqr + epqr}.$$

183. Cette équation générale se réduit à une expression bien plus simple, selon les cas où on l'applique. Car s'il s'agit d'une Lentille de verre, $p = 31$, $q = 20$, et la formule précédente devient

$$x = \frac{620dr R - 220deR + 400erR}{341dR + 341dr - 620rR - 121de + 220er} :$$ et si on fait $e = 0$, en négligeant l'épaisseur du verre,

$x = \frac{620drR}{341dR+341dr-620rR} = \frac{20drR}{11dR+11dr-20rR}$. Enfin si on suppose les deux sphéricités égales, $r = R$, et $x = \frac{10dr}{11d-10r}$.

184. Remarque I. Etant donné l'arc AI, compris entre le point A de l'axe commun des deux surfaces sphériques, et le point I, où tombe un rayon oblique OI, parti d'un point O pris sur cet axe, on peut calculer par la Trigonométrie rectiligne le vrai point F, où le rayon OI, rencontre le même axe après ses deux réfractions. Car dans le triangle OKI, on connoît OK, KI et l'angle AKI; le calcul donnera donc IO et l'angle KIO, dont le supplément est KIG. Dans le triangle rectangle IKG, on a IK et l'angle KIG; on calculera donc KG. On fera ensuite $p:q::KG:KH$: et dans le triangle rectangle KIH, ayant KI et KH, on calculera aisément l'angle KIH. Dans le triangle KIP, on a IK et les angles IKP, KIP; on aura donc KP et l'angle KPI. Dans le triangle PCD rectangle en D, on a PC = PK + KA + CB — AB, et l'angle CPD, qui donne l'angle PCD; on aura donc CD: on fera $q:p::CD:CE$. Ensuite dans le triangle rectangle CTD, on connoît CT et CD; ce qui servira à trouver l'angle TCD. Dans le triangle CTE, on connoît CT et CE, d'où on calculera l'angle ETC, dont le supplément est CTF. Enfin dans le triangle CTF, on a le côté TC, l'angle CTF et l'angle FCD = PCD — TCD; on aura donc CF, et par conséquent BF = CF — CB.

Si l'objet O est à une distance infinie, le calcul devient un peu plus court: car OI étant alors parallele à l'axe, l'angle KIG = AKI est mesuré par l'arc donné AI.

183. Rem. II. Par le calcul précédent, ou même par une simple construction géométrique, il est aisé de voir que *lorsqu'un rayon* OI *tombe à quelque distance du point* A *de l'axe commun des deux surfaces, la courbure de l'arc* AI *porte plutôt ce rayon vers l'axe;* ce qui fait que le point F, où il le coupe, est plus-près du

point B, à proportion que cet arc AI est d'un plus grand nombre de degrés.

186. PROB. II. *Etant données les dimensions d'une Lentille quelconque* AD, (Fig. 25.) *dont les centres de surfaces sont en* C *et en* K, *la position d'un objet* O *hors de l'axe* BK *de la Lentille, mais autant éloigné de la Lentille, que le point* B *qui est dans l'axe; trouver le point* F, *où les rayons de lumiere, partis du point* O, *vont se réunir après avoir traversé la Lentille.*

SOLUTION. Par le point O et par le centre K, menez OK, qui sera un axe de sphéricité de la premiere surface ALD; et (174) tous les rayons partis du point O, et qui tombent sur cette surface (dont on suppose l'étendue d'un tres-petit nombre de degrés,) doivent tendre à concourir en un point P, pris sur cet axe: (ce point P se détermine par la formule du N°. 175) de même que tous les rayons partis du point B tendent à se réunir en *p*. On peut maintenant regarder le point P, comme un objet placé dans une masse de verre, d'où partent des rayons qui tombent sur la surface ATD: donc menant par P et par C, centre de convexité de cette surface, une droite PC, qui en soit l'axe, tous les rayons partis du point P doivent (174) se réfracter à cette surface, de sorte qu'ils se dirigent en un même point en-deçà de T, comme F; (lequel se détermine par la formule du N°. 175) de même que le point *p* étant une premiere image de l'objet B, formée par la réfraction sur la surface ALD, devient un objet à l'égard de la surface ATD, qui par une seconde réfraction, forme en *f* une image de l'objet *p*, ou une seconde image de l'objet B.

187. COROLL. I. En négligeant l'épaisseur du verre, et en supposant que les points B, O en soient à égales distances, il est clair que les points *p*, P en sont aussi également éloignés, puisqu'on les trouve chacun par la même formule, avec des données égales; et par la même raison, les points *f*, F, sont aussi également éloignés du verre.

188. COROLL. II. Ce qu'on vient de dire du point O, pouvant

ouvant s'appliquer à tous les points de la surface visible un objet, on voit maintenant la formation des images ntieres d'un objet, lesquelles sont des figures à très-peu-ırès semblables à celles des surfaces visibles des objets.

189. COROLL. III. Lorsque toutes les parties d'un objet ort étendu, ou lorsque plusieurs objets, sont à une même distance du verre, leurs images doivent se peindre distinctement dans une assez grande portion de sphere dont le verre est le centre.

190. COROLL. IV. *Il suffit donc de calculer, par le moyen des formules précédentes, la position de l'image du point de l'objet qui est dans l'axe des verres, pour avoir celle de l'image entiere de l'objet.*

191. COROLL. V. On voit aussi par la construction précédente, que lorsque l'objet OB est assez éloigné, pour que l'image se fasse au-delà d'un des rayons de convexité du verre, cette image est renversée; c'est-à-dire, que ses parties sont dans une position opposée à celle des parties correspondantes de l'objet.

192. REM. L'expérience fait voir que l'étendue dans laquelle les images des objets présentés à une Lentille, se fait distinctement, est très-considérable. Car si on a une chambre obscure (comme il a été dit n.° 5,) et si ayant fait une ouverture de 2 à 3 pouces de diametre, on la recouvre avec un verre convexe, on verra sur un carton blanc, posé à une distance proportionnée à la longueur des rayons de convexité, et à l'éloignement des objets, des images renversées de tous les objets exposés au trou, avec des couleurs d'autant plus vives, que ces objets seront mieux éclairés: et toutes ces images seront assez distinctes, quoiqu'elles le soient d'autant plus, qu'elles représenteront des objets situés plus près de l'axe de la Lentille.

193. THÉOR. *Lorsque les deux surfaces d'une Lentille convexe ou concave sont d'un égal rayon de sphéricité, parmi les rayons de lumiere, qui étant partis d'un point* O (Fig. 23 *et* 24) *pris hors de l'axe, tombent sur cette Lentille, celui qui passe par le point*

I *de l'axe qui est au milieu de l'épaisseur de la Lentille, sort après ses deux réfractions dans une droite* TF, *parallele à la direction* OD, *qu'il avoit avant que de rencontrer la Lentille.* C'est pour cela que dans la suite on l'appellera *le rayon principal.*

DÉM. A cause des deux arcs ALD, ATD égaux, et d'un même rayon, la figure de la Lentille est un polygone symmétrique d'une infinité de côtés, dont le centre est I; d'où il suit que le rayon de lumiere TL, qui passe par I, aboutit à deux des côtés paralleles (et égaux, dont les positions sont déterminées par les tangentes GL, HT.) Donc ce rayon doit se réfracter également de part et d'autre; c'est-à-dire, que l'angle brisé ILO doit être égal à l'angle brisé ITF, et par conséquent (Elem. 434) les directions MO, TF, doivent être paralleles.

194. COROLL. I. *Si le verre étoit plat d'un côté, et convexe ou concave de l'autre, alors le rayon principal seroit celui qui entreroit dans le verre, ou qui en sortiroit par le sommet de la courbure, selon que cette courbure seroit dirigée ou opposée à l'objet:* car le sommet de la courbure est un plan infiniment petit, parallele à la surface plane de la Lentille.

193. COROLL. II. *En négligeant l'épaisseur de la Lentille*, le rayon principal en sort dans la même droite, selon laquelle il y est entré; ou ce qui est le même, *tout rayon oblique à la Lentille, qui tend au point de son axe, qui est au milieu de son épaisseur, la traverse en ligne droite, ou sans souffrir de réfraction.*

ARTICLE IV.

De la Marche et de la situation des Images formées par une double Réfraction.

196. I. LOrsqu'une Lentille de verre est également convexe des deux côtés, si on suppose qu'un objet lumineux d'une petite étendue soit placé d'abord sur une des surfaces au point où elle est rencontrée par l'axe commun de sphéricité, qu'ensuite cet objet s'éloigne du verre jusques à l'infini sans cependant sortir de cet axe commun, il est clair par la formule $x = \frac{10dr}{11d-10r}$ (183), que l'image de cet objet se fera toujours dans le même axe; que parce que x dans cette formule est négative et croissante dans toutes les valeurs de d, depuis $d = \frac{1}{2}r$ jusques à $d = \frac{10}{11}r$, l'image confondue d'abord avec l'objet même et droite, ira du même côté que l'objet en s'éloignant du verre jusques à l'infini, et les rayons qui la formeront, sortiront du verre de moins en moins divergens jusques à devenir paralleles. Dans toutes les autres valeurs de d depuis $d = \frac{10}{11}r$ jusques à $d = \infty\, r$, la valeur de x est positive et décroissante, l'image sera renversée, et du côté opposé à l'objet, elle reviendra de l'infini jusques à une distance du verre $= \frac{10}{11}r$, et les rayons qui la formeront, sortiront du verre d'abord paralleles, puis convergens de plus en plus.

197. II. Si la Lentille est un verre plan convexe, un des rayons de sphéricité est infini: soit donc $R = \infty$, la formule $x = \frac{20drR}{11dR + 11dr - 20rR}$ devient $x = \frac{20dr}{11d-20r}$, et en faisant les mêmes suppositions que dans le n°. précédent pour les différentes positions d'un objet à l'égard de cette Lentille, on trouve que la marche de l'image se fait de

la même maniere, excepté qu'à égales valeurs de d, celle de x est toujours plus grande, et que l'image n'est infiniment éloignée que lorsque $d = \frac{20}{11} r$.

198. REM. On peut demander s'il est indifférent de présenter à l'objet la surface plane de la Lentille ou sa surface convexe: à quoi l'on doit répondre, qu'en négligeant l'épaisseur du verre, cela est indifférent: mais que si on y a égard, l'image est plus éloignée de la surface convexe, lorsqu'on présente la surface plane à l'objet, qu'elle n'est éloignée de la surface plane lorsque la surface convexe est tournée vers l'objet : si l'objet est fort éloigné du verre, cette différence est environ les $\frac{2}{3}$ de l'épaisseur de verre. Car si dans la formule $x = \frac{620\,dr\,R - 220\,de\,R + 400\,er\,R}{341\,dR + 341\,dr - 620\,rR - 121\,de + 220\,er}$ (183) on fait $d = \infty$ et $r = \infty$, pour exprimer que AI est une surface plane (Fig. 22) tournée vers l'objet O; cette formule se réduit à $x = \frac{620}{341} R$: mais si on fait $R = \infty$ pour exprimer que BT est une surface plane opposée à l'objet O, la formule se réduit à $x = \frac{620}{341} r - \frac{220}{341} e$. Cette Remarque est utile dans l'usage des Télescopes par réfraction où l'on emploie des Réticules ou Micrometres, comme on verra dans la suite: les objectifs de ces Télescopes sont souvent des verres plans convexes, et lorsque l'on les ôte de leur places pour les nettoyer, il faut avoir soin de replacer la même face du même côté, sans cette précaution les fils des réticules ou micrometres pourroient se trouver à plus d'une ligne de leur vraie place, si le verre objectif avoit plus de 1 ligne $\frac{1}{2}$ d'épaisseur.

199. III. Si la Lentille de verre est également concave des deux côtés, alors le rayon KA (Fig. 22) est tourné vers l'objet O, et il faut le faire $= -r$; le rayon CB qui étoit dirigé vers l'objet, est tourné de l'autre sens, il doit donc être $= -R$, et par ce moyen la formule pour les verres également convexes servira pour les verres également concaves, et sera $x = -\frac{10\,dr}{11d + 10r}$; et l'on voit aussi qu'en supposant un objet placé sur une des surfaces au

point par où passe leur axe commun, que cet objet aille le long de cet axe jusques à l'infini, son image va dans le même sens et le long du même axe depuis le verre jusques à une distance égale à $\frac{10}{11} r$; elle est toujours droite, et formée par des rayons qui en sortant du verre divergent de plus en plus; car la valeur de x dans cette formule sera toujours négative, quelle que soit celle de d.

200. IV. Si la Lentille est un verre plan concave, sa formule sera $x = -\frac{20\,dr}{11d + 20r}$, la marche de l'objet et de l'image se fait de la même maniere qu'à l'égard du verre également concave, excepté que la valeur de x est toujours plus grande, et que la plus grande distance possible de l'image au verre est $\frac{20}{11} r$.

201. Enfin si la Lentille est *Menisque*, c'est-à-dire, concave d'un côté et convexe de l'autre, pour avoir une formule qui lui convienne, il faut changer le signe d'un des rayons de sphéricité; il faut mettre, par exemple, $-R$ à la place de R dans les formules du n°. 183: On aura, en négligeant l'épaisseur du verre, $x = \frac{20\,drR}{11dR - 11dr - 20rR}$, et par différentes suppositions de d, on trouvera la marche de l'image; mais nous n'entrerons pas dans le détail, tant à cause du peu d'usage qu'on fait de ces sortes de Lentilles, que parce qu'il faudroit examiner plusieurs cas. C'est par les mêmes raisons que nous ne parlons pas des verres concaves ou convexes, dont les surfaces ont des sphéricités de différents rayons.

202. Rem. *On peut supposer dans la pratique qu'un objet est infiniment éloigné à l'égard d'une lentille, lorsque sa distance est mille ou dix mille fois plus grande que n'est le rayon de sphéricité.* Ainsi, si dans la formule $x = \frac{10\,dr}{11d - 20r}$ on suppose $r = 10$ pouces, et $d = 10000$, c'est-à-dire, d mille fois plus grand que r, on trouve $x = 9{,}102$ pouces. Mais si on fait $d = \infty$, on a $x = 9{,}091$ pouces, il ne s'en faut donc que de $\frac{1}{100}$ de

pouce environ que l'image ne soit au même point, soit qu'on suppose l'objet à une distance mille fois plus grande que n'est le rayon de sphéricité d'une lentille, soit qu'on le suppose à une distance infinie.*

Sur la grandeur de l'Image dans les Verres lenticulaires convexes.

* *Addition des Éditeurs.* « Déterminons actuellement la grandeur de l'image d'un objet situé sur » l'axe d'une lentille, et dont les points soient » à-peu-près à égale distance de sa surface, soit » (Fig. 107), DD′ l'objet et FF′ les foyers des extrémités » D D′ situés semblablement à l'égard du point O et des » axes O D et O D′; F F′ sera l'image de l'objet, et » l'on aura pour déterminer sa grandeur FF′ : DD′ :: FO : » DO, d'où $\frac{FF'}{DD'} = \frac{FO}{DO} = \frac{x}{d}$: or, on a, en négligeant l'é- » paisseur du verre, et en supposant les deux courbures » de la lentille égale (183) $FO = x = \frac{10dr}{11d-10r}$, et $OD =$ » la distance de l'objet $= d$: donc $\frac{FF'}{DD'} = \frac{10d}{\frac{11d-10r}{d}}$: donc le » rapport de grandeur de l'image à l'objet est exprimé par » $\frac{10r}{11d-10r}$.

» Si dans cette formule on fait $d = 0$, le rapport se » réduit à 1; c'est-à-dire que l'objet étant sur la lentille, » l'image est égale à l'objet; depuis $d = 0$ jusqu'à $d = \frac{10r}{11}$, » ce rapport décroît depuis 1 jusqu'à ∞, et par consé- » quent l'image est droite et croît depuis une quantité » égale à l'objet jusqu'à devenir infiniment grande et de- » puis $d = \frac{10r}{11}$ jusqu'à $d = \infty$, l'image est renversée de- » vant la lentille et décroît depuis une quantité infiniment » grande, jusqu'à devenir infiniment petite.

Lentille plan convexe.

« Lorsque la lentille est plan convexe, la formule du foyer » est (197), $x = \frac{20\,dr}{11d\ 20r}$, et tout ayant d'ailleurs la même » signification que dans la Fig. (108), on a FF′ : DD′ :: » OF : OD; d'où $\frac{FF'}{DD'} = \frac{OF}{OD} = \frac{\frac{20\,dr}{11d - 20r}}{d} = \frac{20r}{11d - 20r}$ qui ex- » primera le rapport de grandeur de l'image à l'objet.

» Si $d = 0$, ce rapport se réduit à l'unité, c'est-à-dire » que l'objet étant à la surface de la lentille, l'image est » égale à l'objet, et le reste est analogue au cas précé- » dent, les signes étant les mêmes, et les formules ne » diffèrent que par les nombres.

Lentille concave.

» Soit toujours DD′ l'objet et FF′ l'image de l'objet, on » aura encore, ainsi que dans les cas précédens, pour déter- » miner la grandeur de l'image : FF′ : DD′ :: OF : OD : donc $\frac{FF'}{DD'} = \frac{OF}{OD} = \frac{x}{d}$ égal le rapport de grandeur de l'image à l'ob- » jet : or $OD = d$, et OF (199) $= x = \frac{-10\,dr}{11d + 10r}$; donc » le rapport de grandeur de l'image à l'objet $= \frac{10r}{11d + 10r}$; » si $d = 0$, ce rapport se réduit à 1; c'est-à-dire que lorque » l'objet est sur la surface de la lentille, l'image est égale » à l'objet : depuis $d = 0$ jusqu'à $d = \infty$, ce rapport dimi- » nue depuis l'unité jusqu'à devenir zéro. Donc l'objet » allant de la surface de la lentille, l'image décroît depuis » une quantité égale à l'objet, jusqu'à devenir infiniment » petite; donc dans cette espèce de lentille l'image est » toujours plus petite que l'objet.

Lentille plan concave.

» Dans cette espèce de lentille, la distance focale OF
» est (200) $x = \frac{-20dr}{11d+20r}$; donc $\frac{FF'}{DD'} = \frac{OF}{OD} = \frac{x}{d}$, et
» OD étant égal à d, $\frac{x}{d} = \frac{-20r}{11d+20r}$; donc l'expression
» du rapport de grandeur de l'image à l'objet, est égal
» à $\frac{20r}{11d+20r}$; si dans cette formule on suppose $d = 0$,
» le rapport $= 1$, c'est-à-dire que dans ce cas l'image est
» égale à l'objet ; depuis $d = 0$ jusqu'à $d = \infty$, le rapport
» décroît depuis 1 jusqu'à 0, et l'image décroît par con-
» séquent depuis une quantité égale à l objet jusqu'à de-
» venir infiniment petite.

CHAPITRE IV.

De la Vision.

ARTICLE I.

Description de l'OEil, et des Images qui s'y forment.

203 L'OEIL est enveloppé de trois tuniques : la première et extérieure EDNNDE (Fig. 26) s'appelle *la Cornée ;* elle est d'une figure sphérique, dont la partie DED est un segment d'une plus petite sphere que le reste, et transparente comme une feuille de corne fine : la seconde PIIP, s'appelle la *Sclérotique ;* elle a une ouverture PP, qu'on appelle la *Prunelle ;* cette ouverture est

rdée d'une espece de rideau noir, gris ou bleuâtre, qu'on pelle l'*Iris*, qui a la propriété de conserver toujours la rme circulaire à la prunelle, soit que celle-ci s'aggrandisse, lorsque l'œil entre dans l'obscurité, soit qu'elle se rétrécisse, lorsqu'il devient exposé à une plus grande clarté. (Ces deux mouvemens se font involontairement.) La troisieme tunique CBsBC, s'appelle la *Choroïde* : c'est un tapis velouté et imbu d'une liqueur très-noire, qui sert par conséquent à faire de l'œil une chambre obscure. Il absorbe les rayons dont la réfraction se fait irréguliérement dans l'œil. A la Choroïde et au-dessous de la prunelle est attachée une espece de louppe ou lentille CC, qu'on appelle le *Crystallin*. Sa convexité est d'un plus petit rayon dans sa partie antérieure : il est retenu par deux muscles BC, BC, (on les appelle les *Ligamens ciliaires*,) qui en le tirant de C vers B, le rendent moins convexe, lorsqu'il est nécessaire. Il se peut faire aussi que ces muscles contribuent à faire aller le crystallin en avant ou en arriere. Sur le fond vers HH, est un reseau très-blanc et très-fin, qu'on appelle *la Rétine*, et qui s'étend sur la choroïde. C'est une expansion du *Nerf-Optique* NN, * qui sert à transmettre la sensation jusqu'au siege de l'ame. Dans l'espace qui est entre la cornée et le crystallin, il y a une liqueur très-limpide et très-claire, dans laquelle l'Iris nage ; on la nomme l'*humeur aqueuse*. Entre le crystallin et le fond de l'œil, il y a une substance très-claire, mais d'une consistance gelatineuse ; on l'appelle l'*humeur vitrée*.

204. Lorsque les rayons de la lumiere entrent dans l'œil, il se réfractent en pénétrant l'humeur aqueuse, (en sorte que le sinus d'incidence est au sinus de réfraction

* Quelques physiciens prétendent que la Choroïde est l'organe immédiat de la vue, fondés sur des expériences selon lesquelles les parties des objets cessent d'être visibles lorsqu'on place son œil, de sorte que les images de ces parties viennent à tomber sur le centre du paquet NN de filets où la Rétine commence à s'épanouir sur la Choroïde.

comme 4 à 3); ils se réfractent encore un peu à l'entrée et à la sortie du crystallin, (car dans le passage de l'humeur aqueuse au crystallin, le rapport des sinus est comme 15 à 12, et à l'entrée de l'humeur vitrée, comme 12 à 13:) et l'effet de ces réfractions est de réunir tous ceux qui sont partis d'un même point d'un objet, et d'en former par conséquent une image, laquelle fait voir distinctement l'objet, lorsqu'elle se forme sur la rétine, mais confusément, lorsqu'elle se forme en deçà, ou lorsqu'elle tend à se former au-delà. *

* *Addition des Éditeurs.* Il y a peu d'expériences bien » faites sur la réfraction de la lumiere à travers les li- » queurs aqueuses et vitrées, et il ne paroît pas que l'on » en ait fait sur la dispersion.

» La densité de l'humeur vitrée est plus grande que » celle de l'humeur aqueuse, ce qui paroîtroit faire croire » qu'il devroit exister une différence dans leur réfrangi- » bilité. La lumiere blanche qui pénetre dans l'œil ne » paroît pas colorée, ce qui prouve d'après l'opinion d'Eu- » ler, que l'œil est acromatique.

» Il seroit donc intéressant que l'on eût des expérien- » ces bien faites sur ces rapports de réfrangibilité.

205. Mais pour concevoir ceci un peu plus clairement, il faut considérer que chaque point de la surface visible d'un objet lançant ou renvoyant de tous côtés les rayons lumineux, devient à l'égard de la prunelle de l'œil le sommet d'un cône dont elle est la base: par la réfraction de ces rayons qui se fait dans l'œil, ils forment un autre cône opposé au premier dont la prunelle est aussi la base, et dont le sommet est au fond de l'organe, où par leur concours ils forment une image sensible du point d'où ils sont partis. Ces deux cônes ont un axe commun, et qui est sensiblement un ligne droite (car la réfraction qui se fait à l'entrée et à la sortie du crystallin n'est ici presque d'aucune conséquence): On peut donc supposer que tous les rayons qui forment ces deux cônes, sont confondus avec l'axe commun, et qu'ainsi chaque point d'une surface vi-

sible se distingue, parce que son image est portée au fond de l'œil par un rayon qui passe par le centre de la prunelle.

Cela posé 1°. si le point dont il s'agit est vers le centre de la surface visible, comme en R (Fig. 26) un autre point Q de cette même surface qui sera à droite, enverra son image dans l'œil par un rayon Qq qui se croisera au centre de la prunelle avec le rayon Rr qui porte l'image du point R: donc l'image q se fera dans le fond de l'œil à gauche de l'image r du point R, et par conséquent ces deux images seront dans une situation renversée à l'égard de celle où les points R et Q se trouvent sur la surface de l'objet.

2°. Chaque faisceau ou cône de rayons partis de chaque point de la surface visible de l'objet étant supposé réduit au simple rayon qui est dans l'axe, la surface entiere de l'objet devient à l'égard de l'œil la base d'une Pyramide lumineuse, dont le centre de la prunelle est le sommet, et les rayons qui composent cette pyramide se prolongeant dans l'œil y forment une autre pyramide opposée, qui se trouve interceptée par le fond de l'organe, et qui a par conséquent pour base l'image entiere de l'objet, laquelle étant peinte avec toutes ses couleurs, occasionne l'idée de la présence et de la figure de cet objet, comme nous avons dit plus haut.

ARTICLE II.

De la Vision distincte.

Des différens accidens de la Vue, avec les remedes que fournit la Dioptrique.

206. PUisque les rayons de lumiere portent avec eux l'image d'un point A d'où il sont partis, (54) et qu'ayant traversé un verre convexe, ils vont tous s'entrecouper en un foyer ou point de réunion, il est clair

que si on les intercepte par un plan en-deçà ou au-delà de ce point de réunion, on doit voir sur le plan une image de ce point A, mais qu'elle doit avoir d'autant plus d'étendue et être d'autant moins vive, qu'elle aura été prise plus loin du foyer: il paroît aussi qu'à cause de cette étendue, l'image du point B contigu au point A sera confondue en partie avec celle du point A: que si ces deux points sont de différentes couleurs, l'image composée de ces deux images sera de trois couleurs, parce que la partie commune des deux images sera d'une couleur composée des deux autres couleurs. D'où l'on voit que cette image composée ne ressemblera à l'objet AB ni par ses dimensions, ni par sa figure, ni par sa couleur, ni par son éclat: qu'elle sera par conséquent trop grande et confuse: au lieu qu'au point de réunion des rayons, les deux images n'eussent été chacune qu'un point distinct l'un de l'autre, et teint de sa propre couleur. Telle est l'idée qu'on doit se faire de la vision distincte ou confuse. La vision distincte d'un objet, est celle où la lumiere atteint la rétine au vrai point de réunion ou au sommet des cônes lumineux partis de chaque point de cet objet, (que je suppose suffisamment éclairé). La vision confuse est celle où la lumiere parvient à la rétine avant ou après cette réunion, ou point commun d'intersection.

207. D'ailleurs (174) l'image vive et distincte d'un objet, produite par le moyen d'une surface convexe réfringente, est sur l'axe qui passe par l'objet et par le centre de sphéricité de la surface; il est donc clair qu'on ne doit voir distinctement les objets que lorsqu'on a tourné l'œil vers eux, c'est-à-dire, lorsqu'on a dirigé vers l'objet l'axe ou la droite qui passe par le centre de l'œil, et par celui de la prunelle; on ne voit même bien distinctement que le point de l'objet auquel cet axe aboutit.

208. Lorsqu'un objet placé à quelque distance d'une surface réfringente-convexe d'une sphéricité constante et posée fixement, vient en s'approchant vers cette surface, son image s'en éloigne (179): et il est évident que

si on vouloit que l'image restât à la même place, il faudroit ou en éloigner la surface réfringente, à mesure que l'objet s'en approche, ou bien diminuer à mesure le demi-diametre de sphéricité de la surface; car alors sa distance à l'image, qui dans les formules de l'article II. (179) est toujours un multiple du demi-diametre de sphéricité, deviendroit plus grande relativement à ce demi-diametre, quoiqu'elle restât absolument la même. C'est aussi ce qui arrive à ceux qui ont une vue excellente : ils ont l'œil tellement conformé, et le jeu de ses parties si libre, que lorsque les rayons de lumiere, partis d'un même point d'un objet, entrent dans la prunelle à peu près paralleles entr'eux, ce qui suppose (202) l'objet à une assez grande distance de l'œil, le foyer de ces rayons se trouve précisément sur la rétine; et lorsque l'objet s'approche de l'œil, de maniere que les rayons de lumiere qui partent d'un de ses points, entrent sensiblement divergens : alors le spectateur peut conformer son œil à chaque nouvelle distance de l'objet, de sorte que l'image se forme toujours sur la rétine, soit que pour cela il rapproche à mesure son crystallin vers la prunelle, soit qu'il le rende plus convexe, ou même sa cornée, soit enfin qu'il employe deux de ces moyens ou les trois à la fois pour voir toujours distinctement les objets, à quelque distance de l'œil qu'ils soient placés, pourvu qu'elle ne soit absolument trop grande, ni moindre que de 5 à 6 pouces.

209. Mais si par une constitution vicieuse de l'œil, soit qu'elle soit un défaut naturel, soit qu'elle soit acquise par une mauvaise habitude, ou arrivée par accident, ses muscles n'ont ni la force ni le ressort nécessaire, pour changer sa figure suffisamment; alors on ne peut plus voir distinctement que les objets qui sont à une distance renfermée entre certaines limites, plus ou moins étendues, selon la force avec laquelle l'œil peut changer sa conformation, pour faire tomber les images sur sa rétine. Par exemple, si le crystallin, ou même si le devant de la cornée sont trop convexes, le vrai lieu des images des objets fort éloignés

est très-près du crystallin, et par conséquent en-deçà de la rétine; on ne les voit donc alors que très-confusément, et il faut rapprocher beaucoup ces objets, afin que leurs images en s'éloignant à mesure, puissent se former sur la rétine même. Tel est le défaut de ceux qui ont la vue courte, et qu'on appelle *Myopes*.

210. Au contraire, si le segment antérieur de la cornée, ou si le crystallin n'ont de convexité qu'autant qu'il en faut pour faire tomber sur la rétine les images des objets fort éloignés, celles des objets plus proches tendront à se former au-delà de la rétine, et par conséquent les rayons étant interceptés par la rétine avant leur réunion, on ne doit voir les objets que confusément. C'est-là le défaut de ceux qui ont la vue longue, et qu'on appelle *Presbytes*: tels sont la plupart des vieillards, à qui l'âge en desséchant les humeurs, a applati le cryistallin, et affaissé la partie antérieure de la cornée.

211. Les Myopes sont donc ceux qui ne peuvent voir distinctement que les objets proches, ou qui en voient des rayons sensiblement divergens, et les bresbytes sont ceux qui ne peuvent voir distinctement que les objets éloignés, ou qui en voient des rayons sensiblement paralleles. Car on verra dans la suite qu'absolument parlant il faut un peu de divergence dans les rayons pour rendre la vision distincte (voyez n°. 318). Or il est évident par la théorie des verres concaves et convexes, que les verres concaves font diverger les rayons qui y entrent paralleles, ou qui viennent d'un objet fort éloigné; puisqu'en traversant un verre également concave des deux côtés, ils se détournent et s'écartent pour se diriger à un point du côté de l'objet, et proche du quart de l'axe de sphéricité. Un œil myope qui reçoit les rayons ainsi divergens, peut donc distinguer l'objet d'où ils sont partis; d'où il suit que les Miopes peuvent corriger le défaut de leur vue, et voir clairement les objets éloignés, à l'aide d'un verre d'une concavité proportionnée à la figure de leur œil. Par un semblable raisonnement, on voit que les Presbytes peuvent voir distinctement les

objets proches, en les mettant au foyer d'une loupe convexe, parce qu'elle a la propriété de ramener au parallélisme les rayons divergens, partis de son foyer.

212. Le défaut des yeux myopes et des yeux presbytes, n'est sensible qu'à cause de la grande ouverture de la prunelle de l'œil: car si cette ouverture n'étoit qu'un point, de sorte qu'elle ne pût admettre dans l'œil qu'un seul rayon, parti de chaque point distinct d'un objet visible, ces rayons tomberoient sur autant de points distincts de la rétine, et y formeroient par conséquent une peinture distincte, mais extrêmement foible faute de lumiere suffisante. Sans cet inconvénient on pourroit corriger le défaut des Myopes et des Presbytes, en appliquant sur leurs yeux une surface opaque percée d'un très-petit trou: on le corrige en effet en partie par ce moyen.

213. Il suit encore de là qu'*en regardant un objet par un trou extrêmement petit, on le doit voir distinctement, quelque près qu'il soit de l'œil.*

214. Il arrive quelquefois que des deux yeux d'un homme, l'un est bon (c'est-à-dire, fait partie d'une vue excellente,) et l'autre est foible (c'est-à-dire myope ou presbyte.) En ce cas le spectateur est obligé de tourner vers les objets l'œil le plus propre à les faire voir distinctement, et d'en détourner l'autre œil qui ne recevroit qu'une image confuse de ces objets; ce qui troubleroit l'image distincte. C'est cette alternative de diriger un œil, en détournant l'autre, et réciproquement, que l'on appelle le *Strabisme*; et ceux qui ont ce défaut, s'appellent *Louches*.

ARTICLE III.

De la Vision faite à l'aide des Verres ou Miroirs.

215. PUisque nous ne voyons un objet que par l'image qui s'en forme dans notre œil, il est clair 1°. *que nous ne devons voir un objet que dans la direction selon laquelle les rayons entrent dans notre œil, pour y former leur image*, ainsi qu'il a été dit ci-dessus (21). Si donc ces rayons n'entrent qu'après plusieurs réfractions ou réflexions, qui aient beaucoup changé la direction primitive des rayons qui partoient de l'objet, nous ne devons plus le voir dans la droite qui vient de lui directement à notre œil.

216. Il est évident 2°. que lorsqu'on met entre un objet et l'œil un verre, un miroir, etc. qui par sa figure change la marche des rayons de lumiere qui iroient de l'objet à l'œil directement, cet objet ne doit plus être censé placé à la portée ordinaire de la vue où nous jugeons de sa grandeur et de sa distance, plutôt par habitude que par les dimensions des images qui s'en forment dans notre œil: nous devons alors juger de sa grandeur principalement par les dimensions de son image dans l'œil, lesquelles s'estiment par l'angle à l'œil compris entre les deux rayons qui viennent des extrémités de cet objet; si donc la réfraction ou la réflexion ont rendu cet angle plus grand ou plus petit qu'il n'auroit été, si on avoit regardé cet objet à la vue simple; ou ce qui revient au même, *si l'angle à l'œil compris entre les deux rayons qui passent par les extrémités de la derniere image d'un objet formée par réfraction ou par réflexion, est plus grand ou plus petit que l'angle à l'œil entre les extrémités de cet objet regardé à la vue simple, cet objet paroît grossi ou diminué à proportion. De sorte que si l'œil s'approche ou s'éloigne de cette dernier*

derniere image, l'objet paroîtra augmenter ou diminuer, quand même par ce mouvement l'œil: s'éloigneroit ou s'approcheroit réellement de l'objet parce que l'image tient lieu de l'objet qui ne se voit que par elle. *Si* cependant *un objet ou même une image d'un objet étoient tellement placés à l'égard d'un verre extrêmement mince, ou d'un miroir, que leurs rayons en fussent réfractés ou réfléchis, de sorte qu'ils devinssent ensuite paralleles, l'œil qui se trouveroit sur leur route, verroit cet objet ou cette image de la même grandeur, à quelque distance qu'il s'approchât ou qu'il s'éloignât du verre ou du miroir: et cette grandeur seroit la même que si l'objet étoit vu par un œil placé au lieu où est le verre ou le miroir.* Car soit RS (F. 27 et 28) le demi-diametre d'un objet ou d'une image, placé à l'égard de la lentille CB, de sorte que les rayons qui partent du point R, ou qui y tendent, sortent tous paralleles entr'eux, en supposant la lentille infiniment peu épaisse: parmi ces rayons, il y en a un RC (c'est le rayon principal) qui la traverse sans se réfracter (195). Soit SG le rayon qui part du centre de l'objet ou de l'image, et qui est dans l'axe de la lentille. Il est évident que l'angle SCR est celui sous lequel l'image ou l'objet SR est vu par un œil placé au lieu C, où est la lentille, et qu'en quelque point E de l'axe que l'œil soit situé, pourvu qu'il se trouve sur la route de quelques-uns des rayons partis du point R, ou qui y tendent, il voit cet objet ou cette image sous l'angle CEB = SCR. Ce seroit la même chose, si l'œil étoit placé au foyer d'un verre ou d'un miroir, sur lequel les rayons d'un objet ou d'une image fussent tombés paralleles: à quelque distance que cet objet ou cette image fût placée, à l'égard du miroir, l'œil les verroit toujours de la même grandeur.

217. A l'égard de la distance de l'œil au lieu où les objets paroissent être, elle ne se mesure pas par la distance réelle de l'œil à la derniere image. Mais puisque (103) la

distance apparente des objets s'estime principalement par l'idée que nous avons de leur grandeur, il suit que lorsque nous voyons des objets dont les images sont grossies ou diminuées par la réflexion ou par la réfraction, nous devons les juger rapprochés ou éloignés de notre œil, à proportion de la grandeur que nous leur voyons, comparée à celle que nous leur connoissons. Or, comme la surface visible des objets vus directement, est (23) la base d'une pyramide de lumiere dont le sommet est à notre œil, si la pointe de cette pyramide devient plus obtuse par l'effet d'une ou de plusieurs réflexions ou réfractions, l'objet qui semble toujours en être la base, doit sembler être pour cet effet assez rapproché de l'œil ou du sommet de la nouvelle pyramide. C'est le contraire si la pointe de la pyramide est devenue plus aigue. De-là on peut tirer cette construction pour avoir le lieu apparent des objets vus à l'aide des verres ou miroirs. Soit R Q (Fig. 29) une dimension d'un objet quelconque, O le lieu où est l'œil, O R l'axe de la pyramide optique par laquelle on voit cet objet : O T la direction du rayon qui vient de l'extrémité Q de l'objet, après avoir souffert tant de réfractions et de réflexions qu'on voudra, par des surfaces sphériques, dont les axes soient tous placés sur O R. Menez Q *q* parallele à O R, jusqu'à la rencontre du rayon O T; le point *q* sera le lieu apparent du point Q, ou de la derniere image de ce point Q, et O*r* sera la distance apparente de l'œil à l'objet, *q r* étant le lieu apparent de la derniere image vue par l'œil placé en O.

218. De-là il est aisé d'expliquer pourquoi les loupes convexes grossissent et rapprochent les objets, et les lentilles concaves les diminuent et les éloignent.

219. Enfin on conçoit que si les rayons qui viennent d'un objet sont refractés ou réfléchis, de sorte que l'image qu'ils forment ensuite soit située derriere l'œil du spectateur, ou il se trouve un corps opaque entre cette image et l'œil, cet objet devient absolument invisible, tant que l'œil restera à la même place. Que si ces rayons réfléchis ou réfractés

entrent dans l'œil sous une telle inclinaison qu'ils ne puissent former une image qu'en-deçà ou qu'en-delà de la rétine, l'objet ne se peut voir que confusément.

220. Pour appliquer tout ceci à un exemple général, soit G R (Fig. 30) l'axe commun de tant de lentilles A, B, C, qu'on voudra : soit Q R une des dimensions d'un objet quelconque ; E le lieu de l'œil qui reçoit le rayon Q K I H E, parti du point Q, et qui tombant sur l'extrémité K d'une lentille A K, a été obligé de se réfracter pour se diriger vers F, mais rencontrant en I une autre lentille B I, se réfracte de nouveau, et se dirige en sortant vers le point *f*, et rencontrant encore en H une autre lentille C H, se réfracte encore et se dirige vers E, où il est reçu par l'œil. Il est clair 1°. qu'à cause que E T est la dernière direction du rayon qui parvient à l'œil, en tirant Q *q* parallele à G R et *q r* parallele à Q R, la derniere image de l'objet Q R, paroît être en *q r* (217). 2°. Que la distance apparente de l'œil à l'objet est E *r*. 3°. Que la grandeur apparente de l'objet est à sa grandeur réelle comme E R à E *r*, parce que les angles *q* E *r*, Q E R, qu'on suppose fort petits, sont (79) dans ce rapport. 4°. Que la situation de l'objet paroît droite ou renversée, selon la position de l'image au-delà ou en-deçà du centre de sphéricité du dernier verre ou miroir, par rapport à l'objet ou à l'image qui aura précédé cette derniere image, et lui aura servi d'objet; ce que le calcul des foyers de chaque verre fait connoître. 5°. Que si on regarde la droite qui mesure la distance du centre ou milieu de chaque lentille à son extrémité, (telle que seroit G H) comme un objet, et que si on détermine (comme au N°. 217) la position apparente de chacune de ces droites, en la supposant vue par le moyen des lentilles situées entre l'œil et elles, celle qui sous-tendra un plus petit angle à l'œil, déterminera le plus grand angle de vision, c'est-à-dire, le plus grand espace qu'on puisse voir à travers tous ces verres.

En changeant les mots de *Réfractions*, de *Lentilles*, etc. en ceux de *Réflexions*, de *Miroirs*, ou en général, d'autre

milieu quelconque, on verra facilement que tout ce qu'on vient de dire est commun à la Captotrique comme à la Dioptrique.

CHAPITRE V.

Des Télescopes et des Microscopes.

ARTICLE Ier.

Notions préliminaires.

221. L'Idée générale d'un *Télescope* ou Lunette à longue vue, et d'un *Microscope*, est 1°. de former une image vive d'un objet qu'on veut voir distinctement, en lui présentant un verre convexe des deux côtés, ou plan convexe, ou même menisque, ou bien un miroir concave (on appelle ce verre ou ce miroir, *le verre* ou *le miroir objectif*:) 2°. de voir distinctement et même de grossir cette image par le moyen d'un ou de plusieurs autres verres, (qu'on appelle *oculaires*, parce qu'ils sont placés du côté où l'on doit mettre l'œil.)

222. Il y a donc deux sortes de Télescopes et de Microscopes: les uns se font simplement par des verres, les autres par des miroirs et des verres, et ceux-ci par cette raison s'appellent *Catadioptriques*.

223. On appelle *champ* d'un Télescope ou d'un Microscope tout l'espace que peut voir un œil placé au point où il doit être, pour jouir de tout l'effet du Télescope ou du Microscope.

224. Quand dans la suite on parlera en général du *foyer* d'un verre ou d'un miroir, on entendra le lieu du concours des rayons réfractés ou réfléchis, en supposant l'objet à une distance infinie, ou que les rayons incidens, partis d'un

même point de l'objet, sont paralleles entr'eux. Il en sera de même quand on dira qu'un verre ou qu'un miroir a tant de pieds ou de pouces de foyer.

225. Une lentille ou un miroir sphérique quelconque étant donnés, on peut déterminer, par voie d'expérience, la longueur de leur foyer, en cette sorte.

I. Si c'est un miroir concave ou une lentille convexe, présentez-les au Soleil, et cherchez le point où les rayons réfléchis ou réfractés, reçus sur un plan, formeront le cercle le plus petit d'un blanc le plus vif, et où les matieres combustibles sont plus promptement enflammées; ce point sera le foyer. Ou bien, couvrez la surface du miroir, ou une des surfaces du verre avec du papier noirci, et percé de plusieurs petits trous d'épingle, et cherchez à quelle distance tous les rayons du Soleil qui passe par ces trous se réunissent en une seule tache blanche: ou enfin présentez le verre ou le miroir à un flambeau assez éloigné pour être au-delà des centres de sphéricité, cherchez à quelle distance du flambeau et du miroir, ou du verre, il faut poser un plan, pour qu'il s'y forme une image renversée du flambeau, la plus distincte et la plus petite qu'il est possible: alors vous aurez les données nécessaires pour calculer par les formules des miroirs et des lentilles, le rayon de sphéricité qu'ils doivent avoir, et par conséquent la longueur du foyer qui en est la moitié dans le miroir, qui lui est égale dans les lentilles également convexes des deux côtés, et qui en est le double dans les verres plan-convexes.

226, II. Si c'est un miroir convexe ou une lentille concave, on couvrira la surface du miroir, ou une des surfaces de la lentille, avec du papier noirci et percé de plusieurs petits trous disposés en circonférence de cercle. Les rayons du Soleil qui passeront par ces trous, et qui seront reçus sur un plan, y feront des taches rondes et blanches, qui iront en s'écartant les unes des autres en circonférence de cercle, à mesure qu'on éloignera le plan; et lorsque le diametre de cette circonférence sera double de celui du cercle des petits trous, la distance du plan au milieu du

miroir ou du verre, sera égale à la longueur du foyer qu'on cherche.

227. Pour faire cette expérience, lorsque le miroir est convexe, il faut que le plan sur lequel on veut recevoir les taches, soit percé d'un trou un peu plus grand que le cercle des petits trous d'épingle, afin que la lumiere du Soleil puisse parvenir au miroir.

ARTICLE II.

Des Télescopes par Réfraction.

228. ON construit ordinairement trois sortes de Télescopes par réfraction ou sans miroir, qui diffèrent entr'elles dans la figure, la position, et le nombre des oculaires.

229. La premiere espece de Télescopes, qu'on appelle *Lunette de Hollande* ou *Lunette de Galilée*, (c'est celle qui a été inventée la premiere, vers l'an 1609 et qui a été seule en usage pendant près de quarante ans,) a pour oculaire un verre concave ou plan concave P Q, (Fig. 31) placé entre l'objectif M N et son foyer *o*, en sorte que les axes des deux verres concourent en une même droite A*o*, et leurs foyers en un même point *o*.

230. Par cette construction, il est évident 1°. que parce que la surface de l'objectif peut être beaucoup plus grande que l'ouverture de la prunelle, il peut tomber sur l'objectif une quantité de rayons partis d'un même point d'un objet, beaucoup plus grande que celle qui pourroit entrer dans l'œil. 2°. Que l'objet étant comme infiniment éloigné, les rayons incidens et paralleles (représentés ici par AD, et par ses deux paralleles,) qui par la réfraction faite en traversant l'objectif M N, convergeroient au point *o*, redeviennent paralleles (197) après avoir traversé l'oculaire; mais que comme l'oculaire a été placé vers la pointe *o* du

cône des rayons réunis par l'objectif, et que les rayons sont fort denses vers cette pointe, ces mêmes rayons sont fort denses en sortant de l'oculaire. 3°. Que par conséquent, si au sortir de l'oculaire, ils sont reçus par un œil d'une vue excellente, ou par un œil presbyte, ils doivent (211) y former une image du point de l'objet d'où ils sont partis, laquelle est d'autant plus vive, que le faisceau de rayons sortant de l'oculaire est plus dense qu'il n'étoit en rencontrant l'objectif, et que l'ouverture de l'objectif est plus grande que celle de la prunelle.

231. A l'égard des points B de l'objet O B, qui sont situés hors de l'axe A *o* du Télescope, il est clair qu'ils envoyent des rayons paralleles, (représentés ici par C D, et par ses deux paralleles), que l'objectif tend à réunir au point *b*, proche du point *o* (187), et qui rencontrant l'oculaire P Q, en sortent sensiblement paraleles et très-denses; de sorte qu'un œil presbyte ou un œil d'une vue excellente, en doit recevoir une image très-vive du point B : mais parce qu'au sortir de l'oculaire, le faisceau qui forme cette image, diverge du faisceau qui forme celle du point *o*, un même œil ne peut recevoir en même tems ces deux images, à moins que sa prunelle ne soit assez ouverte et assez proche du concours F des directions de ces deux faisceaux; d'où il suit qu'*en regardant un objet par le moyen de ce Télescope, on voit un nombre de ses parties, d'autant plus grand, que l'œil est plus proche de l'oculaire, et que l'ouverture de la prunelle est plus grande*. Et parce que l'ouverture de la prunelle est naturellement fort petite, et qu'elle se rétrécit involontairement à proportion de la lumiere qui y entre, il est clair que *le champ de ces sortes de Télescopes est d'autant plus petit que l'objet est plus lumineux, et que l'oculaire est d'un plus grand foyer*. Enfin parce que la nature de la lumiere ne permet pas de mettre des oculaires d'un aussi petit foyer qu'on veut, qu'au contraire les foyers des oculaires doivent être plus longs, à proportion de la lon-

gueur des foyers des objectifs, comme on le verra dans la suite, (270) il suit que *le champ de ces sortes de Télescopes est d'autant plus petit, que le télescope est plus long.* C'est cet inconvénient qui en a aboli l'usage pour les objets fort éloignés, et qui par conséquent demandent de longues lunettes : on n'en fait plus guere de cette espece, que ceux qui doivent être fort courts, pour ne pas trop grossir les objets, tels que sont ceux qu'on nomme vulgairement *Lorgnettes d'Opéra.*

232. On voit encore par la construction de ce Télescope, que les objets y doivent paroître droits : car le faisceau *c* de rayons qui fait voir l'extrémité B de l'objet qui est au-dessous de l'axe A K, est aussi reçu par l'œil dans une direction *c* F, qui vient de dessous l'axe.

233. Si on suppose que *l'objet s'approche de plus en plus vers l'objectif*, il est clair (196) que son image s'en éloignera à proportion, et par conséquent *il faut éloigner aussi l'oculaire, en allongeant la Lunette*, afin que son foyer concoure toujours avec l'image formée par l'objectif.

234. Si l'œil appliqué sur l'oculaire est myope, il faut rapprocher l'oculaire vers l'objectif, afin qu'il voie distinctement. Car alors les faisceaux de rayons qui sortoient de l'oculaire paralleles entr'eux, en sortent divergens ; puisque (197) à mesure que l'objet *b o* s'éloigne du foyer du verre concave, les rayons réfractés convergent vers la partie opposée, et par conséquent ils divergent du côté où est l'objet *b o*, c'est-à-dire, du côté où l'œil est placé.

235. II. La seconde espece de Télescopes, et presque la seule dont on fasse usage dans les observations des astres, et qu'on appelle pour cette raison *Lunette astronomique*, n'a aussi qu'un oculaire, c'est une lentille P Q (F.32.) convexe d'un ou des deux côtés : elle est placée de sorte que son foyer *o* concoure avec celui de l'objectif M N ; mais ce foyer commun est entre les deux verres.

236. Selon cette construction, il est clair 1°. que les rayons partis d'un point O d'un objet O B infiniment

éloigné, (ils sont représentés ici par A D, et par ses deux paralleles; on suppose encore que le point O est dans la droite qui passe par le centre des deux verres, laquelle s'appelle l'*axe* de la Lunette; ayant traversé l'objectif, vont en se croisant à son foyer, y former une image *o* du point O.

237. 2°. Que cette image peut être regardée comme un objet placé au foyer de l'oculaire P Q, et que par conséquent les rayons qui l'ont formée venant à tomber sur l'oculaire, doivent (196) en sortir paralleles entr'eux, mais d'autant plus denses, que le foyer de l'oculaire est plus court que celui de l'objectif: ils doivent donc former dans un œil presbyte (211) ou dans un œil d'une vue excellente, une nouvelle image du point O, d'autant plus vive, que la surface de l'objectif sera plus grande, ou qu'elle aura admis plus de lumiere.

238. 3°. Qu'à quelque distance de l'oculaire que l'œil soit placé, pourvu qu'il soit dans la route du faisceau de rayons paralleles qui en sort, il doit voir également bien l'image que ce faisceau a formée au foyer commun de l'objectif et de l'oculaire.

239. 4°. Que les rayons paralleles partis de l'extrémité B de l'objet O B, doivent former en *b* près du foyer *o*, une image de cette extrémité (188), et que tombant ensuite sur l'oculaire, ils doivent en sortir paralleles entr'eux, mais d'autant plus inclinés à l'axe A F, que la courbure de l'oculaire est plus grande, en sorte que l'axe du faisceau qu'ils forment, doit aller couper l'axe commun des deux verres au foyer F de l'oculaire. Et par conséquent pour qu'un œil puisse voir toute l'image *o b* à la fois, il faut qu'il soit placé au point F où est l'intersection commune de tous les faisceaux de rayons venus de chaque point de l'image *o b*, ou de l'objet O B.

240. 5°. Que l'objet O B doit paroître renversé, puisque son image *o b*, qu'on voit par le moyen de l'oculaire, a une situation opposée à celle de l'objet; et qu'on voit l'extrémité par des rayons qui s'écartent de l'axe, en tendant au-dessus, tandis que le point B est au-dessous.

241. 6°. Que la grandeur du champ de ce Télescope dépend principalement de la grandeur de tout l'espace vers *o b*, qui peut être censé au foyer commun des deux verres; puisque l'œil placé au point F, peut voir (239) tous les points dont l'image est au foyer ou fort près du foyer de l'oculaire. Et c'est cet avantage qui a fait préférer ce Télescope à celui de la premiere espece.

242. 7°. Que si l'objet s'approche de plus en plus vers l'objectif, son image s'en éloigne à mesure (196), et que par conséquent il faut en éloigner aussi l'oculaire, en allongeant le Télescope, afin que l'image reste toujours au foyer de l'oculaire. On peut donc, à l'aide de ce Télescope, voir également bien les objets proches ou éloignés, en mettant les deux verres à une distance convenable.

243. 8°. Que si celui qui se sert de ce Télescope est myope, il doit rapprocher l'oculaire vers l'objectif; ou, ce qui est le même, vers l'image *o b*, afin que cette image étant alors placée entre l'oculaire et son foyer, les rayons qu'elle laisse tomber sur ce verre, en sortent divergens (196).

244. III. La troisième sorte de Télescopes, qui est la plus en usage pour voir les objets terrestres, n'est autre chose que le Télescope précédent, auquel on a ajouté seulement deux autres oculaires pour redresser l'image renversée. La Fig. 33 en fait comprendre aisément la construction. Les quatre verres MN, PQ, RS, TV, ont un axe commun A *f*. Le foyer de chacun concourt de part et d'autre avec le foyer de chaque verre, entre lesquels il se trouve. Les foyers de ces trois oculaires sont d'une égale longueur ordinairement. Soit O B, un objet infiniment éloigné: les rayons paralleles partis du point O, qui est dans l'axe de la Lunette, vont en se croisant par la réfraction faite dans l'objectif, former au foyer *o* une image du point O; de-là tombant sur l'oculaire PQ, ils en sortent paralleles; rencontrant ensuite l'oculaire RS, ils en sortent convergens au foyer *a*, où se croisant, ils forment une seconde image du point O; puis tombant sur l'oculaire TV, ils en sortent encore paralleles, et capables par conséquent de former dans

un œil presbyte, ou dans un œil d'une vue excellente, une image vive de l'objet. De même, les rayons paralles, partis de l'extrémité B de l'objet O B, après avoir traversé l'objectif, vont (187) former en se croisant en *b*, une premiere image de ce point B; de-là tombant sur l'oculaire P Q, ils en sortent paralleles entr'eux, mais d'autant plus inclinés à l'axe A *f*, que le foyer de cet oculaire est plus court : après avoir coupé cet axe en F, ils tombent sur le second oculaire R S, d'où ils sortent convergens, pour former en β une seconde image; puis se prolongeant, ils rencontrent l'oculaire T V, d'où ils sortent encore paralleles et inclinés à l'axe qu'ils vont couper au point *f*, où il faut placer l'œil pour voir l'image β α, comme ci-dessus (239) laquelle est droite, ou située de la même maniere que l'objet O B.

245. Ce Télescope qu'on appelle communément *Lunette à quatre verres*, a, comme on voit, les mêmes propriétés générales que la *Lunette astronomique*. Les avantages de cette derniere, et qui ont déterminé les astronomes à s'en servir préférablement à l'autre, sont 1°. que la Lunette astronomique est capable d'un plus grand champ; 2°. qu'elle peut supporter un oculaire d'un foyer plus court, et par conséquent qu'elle grossit davantage. On verra dans la suite les raisons de ces deux propositions; 3°. qu'elle est plus courte; 4°. qu'il y a moins de perte de lumiere, n'y ayant que deux verres à traverser.

ARTICLE III.

Des Télescopes Catadioptriques.

246. L'Idée générale de la construction d'un Télescope Catadioptrique, est de détourner le faisceau de rayons partis de l'objet, et qui s'étant réfléchis sur la concavité d'un miroir sphérique, convergent pour former une image F, (Fig. 35) de cet objet sur l'axe ou près de l'axe

du miroir. La situation de cette image qui est en-deçà du miroir et du même côté que l'objet, l'empêche d'être vue directement par le moyen d'un ou de trois oculaires; car il faudroit que le spectateur placât sa tête entre l'objet et l'image, ce qui empêcheroit la lumiere de l'objet de parvenir au miroir en assez grande quantité, et assez près de l'axe.

247. Pour éviter cet inconvénient, on place un petit miroir plan I H, incliné à l'axe du miroir sphérique de 45 degrés; ce miroir plan renvoye en *o* la pointe du cône des rayons réfléchis où est l'image, et on ajuste un ou trois oculaires dans la ligne *o* K, selon que l'on veut voir cette image renversée ou droite; pour cet effet on perce le côté M N du tuyau du Télescope.

248. Le principal avantage de ce Télescope, qu'on appelle *Newtonien*, c'est de faire le même effet que les Télescopes à réfraction, quoiqu'il soit beaucoup plus court que ceux-ci; ce qui vient de ce que l'image formée par l'objectif, n'en est éloignée dans le miroir sphérique, que du quart de l'axe de sphéricité (l'objet étant supposé à une distance infinie,) au lieu qu'elle est éloignée du verre également convexe du demi-axe de sphéricité; de ce que cette image ne se trouve pas placée entre l'objectif et les oculaires, comme dans les Télescopes à réfraction de la seconde et de la troisieme espece; mais sur-tout de ce qu'un même miroir objectif peut supporter des oculaires de foyers fort différens entr'eux, et même d'un foyer extrêmement petit; ce qui fait qu'un même Télescope catadioptrique équivaut à plusieurs Lunettes à réfraction de différentes longueurs, parce que ces dernieres ne peuvent guere être bonnes, qu'en leur donnant des oculaires dont les foyers ayent certains rapports avec ces deux objectifs; et les limites de ces rapports sont assez étroites, comme on verra dans la suite.

249. Dans l'usage de ce Télescope, on voit que le miroir plan I H doit être mobile, pour faire tomber les images des objets au foyer de l'oculaire, puisque (145) cette image s'éloigne du miroir objectif à mesure que l'objet s'en

approche. Il faut aussi que l'oculaire puisse couler le long du tuyau M N du télescope, en même tems que le miroir plan I H se meut en-dedans de ce tuyau, afin que cet oculaire ait son foyer placé au sommet du cône des rayons détournés par le Miroir plan I H.

250. On voit encore que les myopes doivent rapprocher un peu le miroir plan I H, afin qu'en plaçant l'image entre l'oculaire et son foyer, les rayons sortent de l'oculaire en divergeant autant qu'il est nécessaire pour la leur faire voir distinctement.

251. On construit encore une autre espece de Télescope Catadioptrique, moins simple, et propre à voir les objets terrestres ainsi que les objets célestes, on l'appelle *Grégorien* : en voici une courte description.

On présente à un objet un miroir sphérique-concave A B (Fig. 36); et un peu au-delà de l'image F, qui s'en forme sur l'axe O F de ce miroir, on pose un autre miroir sphérique-concave C D, d'un foyer plus court, et d'une ouverture beaucoup plus petite, mais dont l'axe est dans la même droite que celui du premier miroir A B : l'image F est à l'égard du miroir C D, comme un objet placé entre son foyer G, et son centre E; c'est pourquoi (143) il s'en forme sur le même axe une seconde image H, laquelle est d'autant plus éloignée au-delà du centre E, que la premiere image F est plus près du foyer G du petit miroir; et parce qu'en approchant ce petit miroir de l'image F ou en l'écartant, on porte la seconde image H à la distance qu'on veut, on a coutume de la placer un peu en de-çà du miroir A B, qu'on perce vers son milieu I, afin que l'image H puisse être vue à l'aide d'un oculaire P Q; et il est évident que cette image doit paroître droite. Car (147) elle est renversée à l'égard de l'image F, laquelle est renversée à l'égard de l'objet.

252. Lorsque l'objet est fort lumineux, on peut, pour aggrandir la seconde image, la faire tomber vers O au-delà du miroir A B, et placer en O le foyer d'un oculaire P Q, afin que les rayons qui tendent à former l'image vers

O, tombant sur cet oculaire, en sortent paralleles; et soient reçus ensuite sur un autre oculaire placé au-delà du point O, qui les fasse converger en un point où il faut mettre l'œil.

253. On voit que dans ces deux sortes de Télescopes, le petit miroir placé dans l'axe du grand, arrête nécessairement tous les rayons paralleles à l'axe qui tomberoient sur le milieu du miroir objectif; c'est pourquoi il est indifférent qu'en cet endroit le miroir soit percé ou non.

254. Les désavantages de ces Télescopes sont, qu'ils ont peu de champ; qu'ils sont difficiles à diriger vers les objets; qu'ils demandent des précautions extraordinaires, tant dans leur construction que dans leur usage; qu'ils sont d'une très-grande dépense, et très-faciles à gâter.

ARTICLE IV.

Des Microscopes.

255. LA premiere espece de Microscopes qui soit en usage, est une simple lentille MN (Fig. 34) convexe d'un ou des deux côtés, et qu'on appelle en général *une Loupe*. En la présentant à un objet OB, de sorte que le foyer qui est sur son axe, tombe sur le point O que l'on veut considérer, les rayons qui partent de ce point pour traverser la Loupe, en sortent paralleles (196) et par conséquent propres à former une image de ce même point dans un œil presbyte, ou dans celui d'une vue excellente, placé à une distance quelconque sur leur direction. (Un œil myope verroit également le point O, en le plaçant un peu en-deçà du foyer de sa Loupe.) Le point B de l'objet OB, assez voisin de l'axe de la Loupe pour être censé à son foyer, envoie aussi des rayons qui sortent de la Loupe sensiblement paralleles entr'eux, mais d'autant plus inclinés à l'axe, que la convexité de la Loupe est

d'une plus petite sphere, ou que son foyer est plus court. C'est pourquoi en plaçant l'œil vers le point *o* de cet axe, par où passe le rayon principal B C, (et par conséquent l'œil doit être fort près de la Loupe,) on verra distinctement l'objet O B, sous l'angle B *o* O, lequel fera paroître cet objet d'autant plus gros, qu'il est situé plus en-deçà de la portée ordinaire de la vue.

256. Par exemple, de ce qu'un homme d'une vue ordinaire ne peut distinguer parfaitement les objets, à moins qu'ils ne soient éloignés de son œil d'environ 7 à 8 pouces, si *o ω* représente cette distance, on ne pourra s'imaginer que le diametre O B de l'objet qu'on voit distinctement à l'aide de la Loupe, soit aussi proche de l'œil qu'il l'est réellement; mais on le croira situé vers *ω*, de sorte qu'il paroîtra aggrandi (79) dans le rapport de *ω ℓ* à O B, ou de *o ω* à *o* O. D'où on voit *que la grosseur apparente des objets vus à l'aide d'une Loupe, dépend en partie de la conformation de l'œil.*

257. II. A la place d'une Loupe, on se sert très-avantageusement d'une petite sphere de verre, qu'on forme très-facilement en faisant fondre un petit morceau de glace à la flamme d'une mêche imbibée d'esprit de vin pour éviter la fumée qui se mêlant avec le verre en fusion, rend les globules opaques. Car en reprenant la formule générale du N°. 182, et y faisant $e = 2r$, $r = R$, $d = \infty$, en substituant, elle se réduira à une formule générale pour les foyers des spheres, $x = \frac{r(2q-p)}{2(p-q)}$: mettant donc ici 20 pour q et 31 pour p, on a pour les spheres de verre $x = \frac{2}{11}r$. C'est-à-dire, que si on place un objet sur l'axe d'une sphere, à la distance de $\frac{2}{11}$ ou d'environ $\frac{1}{5}$ de son diametre, les rayons de lumiere qui entreront dans la sphere près de cet axe, en sortiront paralleles entr'eux; on pourra donc voir distinctement cet objet qui paroîtra d'autant plus grossi, qu'il sera placé plus près de l'œil, et par conséquent que la sphere sera d'un plus petit diametre.

258. On peut encore faire une espece de Microscopes

simple avec une boule de verre pleine d'eau. Elle fera à-peu-près le même effet qu'une petite sphere d'eau, à cause que l'épaisseur du verre de la boule étant très-petite, et formée d'ailleurs de deux surfaces concentriques, la réfraction se fera à-peu-près comme si la boule étoit toute d'eau. Mais parce que la réfraction est moindre dans l'eau que dans le verre, puisque (130) le sinus d'incidence dans l'eau est au sinus de l'angle brisé comme 4 à 3, le foyer de la boule où l'objet doit être posé, afin que les rayons qu'il envoye sur la boule en sortent paralleles, est à la distance d'un demi-diametre de sphéricité de la boule; ce qu'on trouve facilement par la formule générale des foyers (257) des spheres, en faisant $p=4$ et $q=3$; car elle se réduit à $x=r$. D'où l'on voit qu'à diametre égal, ces boules ne grossissent pas tant les objets, que celles qui sont purement de verre.

259. On peut aussi faire une loupe purement d'eau, en faisant un petit trou dans une plaque mince de métal, et en le remplissant d'une goutte d'eau posée avec la tête d'une épingle, afin que la plaque ne soit pas mouillée vers les bords du trou, et que la goutte garde sa rondeur de part et d'autre. Cette Loupe d'eau fera encore un meilleur effet, si dans chacune des deux faces opposées d'une plaque épaisse d'environ $\frac{1}{4}$ de ligne, on fait une très-petite cavité sphérique sur un axe commun, et d'un rayon inégal, en sorte qu'il ne reste entr'elles qu'une très-petite épaisseur qu'on percera d'un trou d'éguille; et on remplira le tout avec une goutte d'eau.

260. III. La seconde espece de Microscopes a beaucoup de rapport au Télescope astronomique. Elle est composée de deux lentilles convexes, dont l'objectif M N (Fig. 37) est d'un foyer fort court: on place un objet O B un peu au-delà, afin que (196) son image *o b* soit éloignée et grossie à proportion; on place ensuite le foyer d'un oculaire au lieu où est cette image, afin de la voir distinctement.

261. On voit par cette construction, 1°. que *la distance de l'image à la Lentille objective doit beaucoup varier, pour*

pourpeu que celle de l'objet OB *varie;* (196) et comme il est difficile de s'assurer de placer un objet assez positivement en une place fixe ou à une distance donnée; dans l'usage de ce Microscope, il faut toujours avancer ou reculer l'oculaire, jusqu'à ce qu'on voie distinctement l'image de l'objet: ou bien il faut pouvoir procurer à l'objet ou à tout le Microscope, un mouvement aussi doux qu'on veut; ce qui s'exécute avec plus ou moins de facilité, selon la construction de la monture de ce Microscope. 2°. Que *l'objet paroît d'autant plus gros, que son image* o b *est plus éloignée de l'objectif* MN, *et qu'étant vue à l'aide de l'oculaire, elle est plus en deçà de la portée ordinaire* (256) *pour être vue distinctement à la vue simple.* 3°. Que *la grosseur apparente de l'objet doit varier à proportion qu'on l'éloigne de l'objectif*, puisqu'à proportion l'image *o b* s'en rapproche aussi, et diminue en même tems.

262. IV. On place quelquefois un oculaire à-peu-près au milieu entre l'objectif MN et l'image *o b*, afin que cette image se fasse beaucoup plus proche de l'objectif, et que par conséquent le tuyau du microscope devienne plus court: on aggrandit même par ce moyen le champ du Microscope, comme on le peut voir en construisant une figure, et en raisonnant comme au n°. 220.

263. V. Enfin on peut construire des Microscopes Catadioptriques, en plaçant un objet entre le centre d'un miroir concave et son foyer, afin que l'image qui se porte (143) au-delà du centre, puisse être vue distinctement par le moyen d'un oculaire. Smith décrit aussi un Microscope formé de deux miroirs sphériques, l'un concave et l'autre convexe, percés tous deux d'un trou rond, fait dans leur milieu, pour laisser un passage libre aux rayons de lumiere; on place l'objet entre le centre et le foyer du miroir concave, et les rayons qui sont réfléchis sur ce miroir, sont reçus sur le miroir convexe, qui les renvoie former l'image vers le trou du miroir concave, où on la voit par le moyen d'un oculaire.

ARTICLE V.

Remarques générales sur les Télescopes et Microscopes.

264. I. *LA tangente de l'angle sous lequel le demi-diametre d'un objet est vu par un des deux premiers Télescopes*, et même par le troisieme, en supposant les trois oculaires d'un foyer égal, *est à la tangente de l'angle sous lequel on le voit à la vue simple, comme la longueur du foyer de l'objectif, est à la longueur du foyer de l'oculaire*, en négligeant l'épaisseur de ces verres.

Car on voit l'extrémité B de l'objet (Fig. 31 et 32) par le faisceau F *c* de rayons paralleles, et son extrémité O par le faisceau *o* K : donc l'angle *c* F K des axes de ces faisceaux est celui sous lequel on voit l'objet par le moyen du Télescope : et à cause que l'image *o b* est au foyer de l'oculaire P Q, les rayons qui partent du point *b* (considéré comme un objet isolé) pour tomber sur l'oculaire, doivent (196) sortir paralleles au rayon principal *b* K ; donc l'angle *c* F K = *b* K *o*. Mais l'angle ODB ou son égal *b* D *o* (puisque (195) le rayon B D traverse le verre M N sans se briser) est celui sous lequel un œil placé en D verroit l'objet O B sans le télescope : donc l'angle sous lequel on voit l'objet par le Télescope, est à l'angle sous lequel on le voit sans Télescope, comme l'angle *b* K *o* est à l'angle *b* D *o*. Or dans les triangles rectangles *b* K *o*, *b* D *o*, en prenant *b o* pour rayon, *o* K est la cotangente de de *b* K *o* et *o* D la cotangente de *b* D *o*. Donc ces cotangentes sont comme *o* K à *o* D ; donc (Elem. 737) les tangentes des angles *b* K *o*, *b* D *o*, sont entr'elles comme *o* D à *o* K.

265. COROLL. I. Puisque (77) les grandeurs apparentes des objets à travers les verres et les miroirs dépen-

dent principalement des angles optiques, sous lesquels on voit leurs demi-diametres, il suit que *la grandeur du diametre d'un objet vu au Télescope est à sa grandeur à la vue simple, comme la longueur du foyer de l'objectif est à la longueur du foyer de l'oculaire:* ou, ce qui est le même, *la grandeur apparente des diametres des objets vus aux Télescopes, est en raison composée de la directe des longueurs des foyers des objectifs, et de l'inverse des longueurs des foyers des oculaires.*

266. Coroll. II. De même, puisque (79) les distances apparentes des objets sont en raison inverse des angles optiques sous lesquels on voit leurs demi-diametres, il suit que *la distance apparente d'un objet vu avec une Lunette est, à la distance apparente à la vue simple, comme la longueur du foyer de l'oculaire est à la longueur du foyer de l'objectif.*

267. Ce qu'on vient de faire voir à l'égard des Télescopes par réfraction est vrai à l'égard des Télescopes Catadioptriques, et à l'égard des Microscopes de la seconde espèce, ainsi qu'on peut s'en convaincre en relisant le tout sur la Figure 35, en mettant les lettres virgulées o' b' c', K′ F′, à la place des lettres o, b, c, K, F, et en supposant le rayon incident O D, assez près de l'axe pour qu'on puisse prendre le triangle o' b' D pour rectangle; et dans la Fig. 37, en lisant *la distance de l'image à l'objectif*, à laplace de *la longueur du foyer de l'objectif.*

268. Coroll. III. *Pour voir les objets à l'aide d'une Lunette, en sorte qu'ils paroissent les plus gros qu'il est possible, il faudroit que le foyer des objectifs des Lunettes fût fort long, et celui des oculaires fort court;* et c'est pour cela qu'on emploie des Lunettes plus longues, à proportion que les objets sont petits et fort éloignés: mais la figure sphérique qu'on donne aux verres, et la nature de la lumiere ne permettent pas de profiter de cet avantage autant qu'on pourroit d'abord se l'imaginer: (*) on en verra la raison dans la suite.

*

De la grandeur et de la position des Images dans les Microscopes.

* *Addition des Éditeurs.* « On peut toujours, lorsque » l'on connoît le foyer d'un microscope simple, déterminer, » au moins par approximation, le rapport de la grandeur de » l'objet vu sans microscope à celle que l'on lui juge en se » servant de cet instrument : en effet, soit B (Fig. 111) le » foyer de la lentille MN; B O la grandeur de l'objet, *c b* la » distance à laquelle on voit distinctement les objets (cette » distance est d'environ 20 à 22 centimetres); prenons » *o b* égal à O B, et menons C *o*; *o* C *b* sera l'angle sous » lequel l'objet *o b* ou O B seroit vu sans microscope, O C B » sera l'angle sous lequel il est vu avec le microscope, en » sorte que *la grandeur de l'objet vu sans instrument* » *est à sa grandeur au moyen du microscope simple,* » *comme l'angle b* C *o est à l'angle* B C O, *ou à-peu-* « *près comme b c* : B C; donc si on appelle G la gran- » deur de l'objet, et γ celle que l'on lui suppose et qu'on » nomme C B longueur du foyer de la lentille F et C B = D « on aura G : γ :: F : D; et conséquemment $\gamma = \frac{D\,G}{F}$.

» Dans le microscope composé, l'image de l'objet O B, » Fig. 37, vient se placer en *o b*, et sa grandeur appa- » rente γ est l'angle *o* K *b*; or, on a *o* K *b* : *b* D *o* :: *o* D : » *o* K, ou en nommant *f* la longueur *o* K du foyer, et fai- » sant D K = *a*; γ : *b* D *o* :: *a* — *f* : *f*, d'où l'on tire γ » $= \frac{a-f}{f}\, b\,D\,o$: or, nous avons trouvé (note préced.) en » considérant le microscope simple, que $b\,D\,o = \frac{G\,D}{F}$, » donc $\gamma = \frac{(a-f)\ G\,D}{f\,F}$.

De la grandeur et de la position des Images dans les Télescopes.

» En se servant du télescope de Galilée, l'objet OB (F. 31) » sera vu sous l'angle PFK = *b* K *o*, que nous appellerons γ, » tandis que, sans télescope, il est vu sous l'angle A D C » = G : or, on a γ : G ou *b* K *o* : *b* C *o* :: C *o* : K *o*, ou en » faisant C *o* = F et K *o* = *f*, γ : G :: F : *f*; donc $\gamma = \frac{GF}{f}$

» La lunette astronomique fait voir l'objet O B (Fi- » gure 32) sous l'angle P F K ou son égal *b* K *o*, que nous » appellerons γ; or, sans cet instrument, l'objet seroit » vu sous l'angle A D C que nous représenterons par G, » et nous aurons γ : G :: *b* K *o* : A D C :: *o* K : *o* D : or, » *o* K est la longueur du foyer de P Q, nommons-la F, » nommons de même *o* D = *f*, et nous aurons γ : G :: F : *f*, » et par conséquent $\gamma = \frac{FG}{f}$.

» A la vue simple, on voit l'objet O B (Fig. 35) sous » l'angle A D C, et au moyen des deux verres D et P Q, il » seroit vu sous l'angle P F K et renversé; mais en employant » le deux autres verres R S et T V, il est redressé et vu » sous l'angle V *f h* : or, en considérant les deux verres D » et P Q comme formant une lunette astronomique, » et nommant *f* la longueur *o* D du foyer de la lentille D, » et F la longueur K *o* du foyer de la lentille Q P, » et G la grandeur de l'angle A D C, on aura P F *o* = » $\frac{GF}{f}$: or, le rayon F P passant par le foyer F du » verre R S sortira suivant S V parallele à F *f*, en sorte » que S *k* sera égal à *h* V, on aura par conséquent S F *k* : » V *f h* :: *f h* : *k* F, ou en nommant *f h*, Φ; F *k*, φ et » l'angle *h f* V, γ, on a $\frac{GF}{f} : \gamma :: \Phi : \varphi$, d'où l'on tire $\gamma = \frac{GF\varphi}{f\Phi}$.

» Pour faciliter la recherche du rapport de la grandeur

» G d'un objet O B (Fig. 112) vu sans instrument, à la » grandeur du même objet vu au moyen du télescope de » Newton, concevons qu'au lieu d'employer un miroir tel » que H I, on ait placé en C′ K′ un verre égal à celui qui est » en C K, et de maniere que son foyer o corresponde » avec celui du miroir D N, alors tout se passera pour » l'œil placé en F′ comme pour l'œil placé en F : or, le » premier verroit l'objet sous un angle égal à o' K′ b', » tandis que, sans cet instrument, on le verroit sous un » angle D A C = o' C b' ou o' A b' : or, on a o' K′ b' : » o' A b' :: o' A : o' K′ : donc en représentant o' A, » qui est la longueur du foyer du miroir D N par F, et par f » la longueur du foyer de la lentille C′ K′, on aura γ : G » :: F : f; donc $\gamma = \frac{GF}{f}$.

» Avant que de chercher le rapport de la grandeur γ de » l'objet vu avec le télescope Grégorien (Figure 113) à sa » grandeur G vu sans télescope, déterminons la position » du miroir C D.

» Soit K le centre, et F le foyer du miroir A B; tous » les rayons paralleles à l'axe K O viendront, après avoir » été réfléchis par ce miroir, passer par le foyer F; ainsi le » miroir C D doit réfléchir les rayons qui partent du point » F, de manière qu'ils se réunissent au foyer I de la len- » tille P Q; le point F peut donc être considéré comme » foyer de rayons divergens partant du point I et réfléchis » par le miroir C D, ainsi il est plus éloigné de ce miroir » que le foyer G des rayons paralleles. La distance V I » est composée de V G + G F × F S — S I : or, rien » n'empêchera de prendre S I = G F, lorsque G F sera » déterminé, et alors V I sera égal à V G + F S, et en » nommant f la longueur V G du foyer du miroir C D, et » F la longueur F S du foyer du miroir A B, on aura V I » = f + F; or, on sait qu'en appellant d, la distance « d'un miroir de rayon r à un point d'où partent des » rayons, la longueur du foyer des rayons réfléchis par ce » miroir est égale à $\frac{dr}{2d-r}$: donc, en observant que le

» rayon VE du miroir CD est double de la longueur VG » de son foyer, on aura $VF = \frac{VI \times 2VG}{2VI - 2VG} = \frac{2(F+f)f}{2(E+f-f)} =$ » $\frac{(F+f)f}{F}$, nous aurons donc IS ou GF = VF — VG » $= \frac{(f+F)f}{F} - f = \frac{ff}{F}$. — Revenons à notre objet, » soient K d et K b, la direction des rayons venant des » deux extrémités de l'objet, et passant par le centre K, » l'angle bkd sera celui sous lequel on verroit l'objet à la » vue simple, et que nous avons nommé G: si par le » foyer F on mene la ligne FN de même que le point F » est le foyer des rayons paralleles à KF, le point N » sera celui des rayons paralleles à KN; les divers rayons » qui passent par N iront, après avoir été réfléchis par » le miroir CD, se réunir en un foyer M à l'intersec- » tion de la ligne IM menée par le foyer I et du rayon » MN qui passe par le centre E du miroir CD; enfin, » les rayons réunis au point M passant au travers de la » lentille PQ seront transmis à l'œil placé en O dans une » direction parallele à ML. L'angle MLI est donc celui » sous lequel l'objet est vu au moyen du télescope, et que » nous avons appelé γ.

» Cela posé, nous avons FE : FK :: FKN : FEN. » or, $FE = EV - VF = 2VG - VF = 2f -$ » $\frac{(F+f)f}{F} = \frac{f(F-f)}{F}$, $KF = F$, $FKN = bkd =$ » G : donc $\frac{f(F-f)}{F}$: F :: G : NEF; donc $NEF =$ » $\frac{GFF}{f(F-f)}$; mais nous avons IL : IE :: MEI : MLI et » IL est la longueur du foyer de la lentille que nous appe- » lerons φ, $IE = IF + GF - GE = IF + IS -$ » $GE = FS - GE = F - f$, $MEI = NEF = \frac{GF^2}{f(F-f)}$ » et MLI c'est γ; donc φ : F — f :: $\frac{GF^2}{f(F-f)}$: V; donc V » $= \frac{GFF}{f\varphi}$. »

269. II. Les Télescopes et les Microscopes qui ont une image de l'objet au foyer de l'oculaire, et du côté opposé à l'œil, ont cet avantage, que l'on peut mesurer toutes les dimensions de cette image, en faisant mouvoir dans tout l'espace qu'elle occupe, des fils extrêmement déliés; tels sont ceux qu'on leve de dessus une coque de ver à soie : (on appelle *Micrometre*, une machine destinée à procurer aux fils ce mouvement, et à en mesurer la quantité). Car ces fils se voient très-distinctement, et l'oculaire est à leur égard un Microscope de la premiere espece; on aura ces dimensions avec d'autant plus de précision, que l'image sera plus grossie par l'oculaire, et que les fils seront plus exactement dans le même plan que l'image: et c'est ce dont on s'assure, lorsque l'objet, la Lunette et les fils restant fixes, on meut l'œil en tout sens, sans que le même point de l'objet cesse de paroître sur un même endroit du fil.

270. Si par le mouvement de l'œil on s'apperçoit que l'objet ne reste pas fixe à l'égard des fils, alors on dit qu'il y a *parallaxe*, mot qui exprime que l'on voit l'objet différemment placé sur les fils selon les différentes positions de l'œil. On corrige ce défaut en poussant le chassis qui porte les fils du Micrometre vers l'objectif ou vers l'oculaire, selon qu'en élevant l'œil, l'objet paroît s'élever ou s'abbaisser à l'égard des fils.

271. *L'usage du Micrometre n'est sûr*, ou ce qui revient au même, l'effet de la parallaxe des fils n'est insensible, *qu'à proportion qu'on donne moins d'étendue au mouvement de ces fils, que l'ouverture de l'objectif est plus petite, et le foyer de l'oculaire plus long.* Car la sureté du Micrometre dépend de la position de ses fils dans le plan précis où les foyers de l'objectif et de l'oculaire coincident exactement: Or le foyer de l'objectif et celui de l'oculaire sont (189) des surfaces sphériques qui se touchent en-dehors, et qui ne peuvent par conséquent être censées coincider dans une espace sensiblement plan, qu'à proportion que cet espace a moins d'étendue, et que les deux spheres

sont d'un plus grand rayon. On verra dans la suite (279 et 298) que les images des objets ne forment sensiblement la surface d'une même sphere, qu'à proportion qu'on diminue l'ouverture des objectifs.

272. III. Si en gardant la même ouverture à l'objectif d'un même Télescope, on veut employer successivement différents oculaires pour voir un même objet, on le voit d'autant plus obscur, que le foyer de l'oculaire est plus court. Car les faisceaux de rayons paralleles, qui s'entrecoupent tous au lieu où l'œil doit être placé, forment une espece de cône, dont l'oculaire est la base, et le sommet dans l'œil : Ce sommet est d'autant plus obtus, que le foyer de l'oculaire est plus court; d'où il suit que les rayons de lumiere entrent dans l'œil plus écartés ou moins denses, et que par conséquent l'image qu'ils y forment, est d'autant moins vive, quoique plus grosse. *L'obscurité des images est en raison inverse des quarrés des longueurs des foyers des oculaires.* Car la quantité de lumiere étant la même, (à cause de l'ouverture de l'objectif qui est la même), l'obscurité est d'autant plus grande, que la densité de la lumiere est plus petite : la densité est d'autant plus petite, que l'espace que la lumiere occupe est plus grand; c'est-à-dire, que les aires des images sont plus grandes, et par conséquent (Elem. 608) que les quarrés des diametres apparents des objets sont plus grands. Ainsi l'obscurité dans les Télescopes est en raison directe des quarrés des diametres apparents des images. Mais (265) les diametres apparents sont en raison composée de la directe des longueurs des foyers des objectifs, et de l'inverse de celle des foyers des oculaires; et par conséquent la longueur du foyer de l'objectif restant la même, les diametres apparents des images sont en raison inverse des longueurs des foyers des oculaires : donc l'objectif étant le même, l'obscurité des images est en raison inverse des quarrés des longueurs des foyers des oculaires.

273. IV. Deux Télescopes ou deux Microscopes sont censés également bons dans leur espece, lorsqu'ils font voir

les objets avec la même clarté, ou avec une même vivacité de lumiere; or en supposant les objectifs et les oculaires d'une matiere également bonne, d'une figure et d'un poli également parfaits, *la clarté des objets est en raison composée de la raison directe des quarrés des diametres de l'ouverture de l'objectif, et de l'inverse du quarré du nombre de fois dont chaque Télescope ou Microscope augmente le diametre des objets.* Si donc c exprime la clarté, d le diametre de l'ouverture, a la distance de l'objectif à l'image, b la longueur du foyer de l'oculaire, et par conséquent (265) $\frac{a}{b}$ le nombre de fois dont le diametre des objets est augmenté, je dis que $c = \frac{bbdd}{aa}$.

Car les aires des images formées sur la rétine sont comme les aires des images formées par l'objectif; et ces aires sont (Elem. 608) comme les quarrés de leurs diametres, et par conséquent (265) comme $\frac{aa}{bb}$. Si donc ces aires des images de la rétine sont les mêmes, leurs clartés seront comme la quantité de lumiere qui passera par les ouvertures des objectifs : cette quantité est comme l'aire des ouvertures, et par conséquent comme les quarrés des diametres des ouvertures (Elem. 608). Ainsi les quarrés des augmentations du diametre de l'objet étant les mêmes, les clartés des images sont comme les quarrés des diametres des ouvertures des objectifs, ou $c = dd$. Mais si les ouvertures des objectifs étoient égales, les quantités de lumiere seroient égales, et la clarté des peintures seroit (272) en raison inverse des quarrés des diametres des images, ou $c = \frac{bb}{aa}$. Donc les ouvertures des objectifs étant différentes, et les augmentations des diametres des objets n'étant pas les mêmes, l'expression de la clarté des images sera $c = \frac{bbdd}{aa}$.

274. V. Les grands Télescopes, tels que ceux qui grossiroient les diametres des objets, 80, 100 fois ou plus, ne

ormules générales pour les foyers, on en conclura l'es-ace qui est occupé par ces deux foyers extrêmes. Cet space n'est guere considérable que dans les Microscopes réfraction, où, à cause de la petitesse du foyer de la entille objective, sa courbure est très-sensible dans une etite étendue de sa surface.

279. On remédie à ces défauts causés par la sphéricité des surfaces, 1°. en donnant peu d'ouverture à la surface de l'objectif qui est tournée vers l'objet, en sorte que l'arc ui en mesure l'étendue, soit d'un très-petit nombre de égrés: ayant égard cependant à ce que ce peu d'ouver-ure n'empêche pas qu'il n'entre une quantité suffisante de umiere, pour rendre les images claires et vives: 2°. en ettant un *diaphragme* à l'endroit du foyer. C'est une sur-ace noire, plane et opaque, percée d'un trou rond, d'un iametre à-peu-près égal à celui de l'image du plus grand objet qu'on puisse voir distinctement par le moyen de l'o-culaire. Les bords de ce diaphragme arrêtent les rayons nutiles, et les absorbent. 3°. On peint aussi le dedans du tuyau en noir, pour arrêter tous les rayons qui viennent des objets fort écartés de l'axe, et qui étant entrés très-obliquement, pourroient, après s'être réfléchis dans le tuyau, venir traverser l'image ou l'oculaire, et rendre la vision confuse.

280. De sçavans Géometres avoient démontré quelles étoient les courbures qu'il falloit donner aux surfaces réfrin-gentes et réfléchissantes, pour leur faire réunir en un seul et même point, tous les rayons partis aussi d'un même point: mais malheureusement la sphéricité des surfaces est le plus petit des obstacles qui sopposent à la perfection des machines d'Optique.

ARTICLE II.

Des obstacles qui viennent de la décomposition des rayons de la lumiere.

NOus avons avancé, en parlant de la Vision (15), que la lumiere étoit un composé de rayons de différentes especes, de la combinaison desquelles dépendoient les couleurs: il faut montrer ici en peu de mots les principales expériences sur lesquelles cette assertion est fondée.

281. I. Supposons une chambre obscure (préparée comme au N°. 5) que C (Fig. 38) soit un petit trou par lequel un faisceau A B de rayons du soleil entre, et va former en D sur un carton blanc exposé au trou ou sur la muraille opposée L K, une image blanche de cet astre, composée (50) d'autant de cercles lumineux confondus, qu'il y a de points dans la surface du trou. Si l'on intercepte ces rayons, en y présentant une des faces Q R d'un prisme triangulaire de verre, tellement situé, que son axe soit dirigé perpendiculairement à l'axe de ce faisceau; alors l'image blanche D du Soleil se change en une figure lumineuse F G, placée plus haut, oblongue, arrondie par les deux bouts, applatie par les côtés, et composée des sept couleurs de l'arc-en-ciel, en sorte que l'espace *r* est rouge, l'espace *o* orangé, l'espace *i* jaune, etc.

282. D'où on voit 1°. que cette figure (ou *spectre*) n'a pu se former ainsi, à moins que les rayons du faisceau A B, qui sans le prisme seroient restés confondus jusqu'en D, n'aient été séparés en se réfractant sur les deux faces inclinées Q R, P R.

283. 2°. Que l'image D étant blanche, et le spectre F G étant composé de toutes les couleurs successives de l'arc-en-ciel, *le blanc ne doit être autre chose qu'un mélange de toutes les couleurs ensemble; et chacune*

des autres couleurs, que des rayons d'une certaine espece. Ce qui se prouve d'ailleurs par une infinité d'expériences, entr'autres par celle-ci.

284. II. Si l'on met une lentille convexe à la place où est le spectre FG, pour réunir en un même foyer tous les rayons qui le composent, en plaçant un plan uni à l'endroit de ce foyer, comme un carton, on y verra une image ronde et blanche. En rapprochant ce carton vers la lentille, l'image restera blanche vers le milieu; elle sera terminée de rouge en bas, et de bleu pourpre par le haut, parce que la réunion des rayons n'est pas encore faite en cet endroit, et que le rouge domine vers F, le bleu et le pourpre vers G; en éloignant le carton un peu au-delà du foyer par rapport à la lentille, on y voit une image blanche vers le milieu, bordée de rouge en haut et de bleu en bas, à cause que les rayons se sont croisés au foyer.

285. On voit 3°. que *les rayons rouges sont ceux qui se brisent le moins, ou qui sont les moins réfrangibles, ensuite les orangés, puis les jaunes, etc.* Et M. Newton a déterminé par des mesures fort exactes, que du passage de l'air dans le verre, le sinus de l'angle d'incidence est au sinus de l'angle brisé, (car ces deux sinus sont dans un rapport constant pour les rayons de la même espece), ainsi qu'il est exprimé dans la table suivante.

Pour toutes les nuances successives des rayons véritablement		depuis	jusqu'à
Rouges	comme	1, 54	1, 5425
Orangés		1, 5425	1, 544
Jaunes		1, 544	1, 54667
Verds		1, 54667	1, 55
Bleus		1, 55	1, 55333
Pourpres		1, 55333	1, 55555
Violets		1, 55555	1, 56

à 1.

* *Addition des Éditeurs.* « On appelle dispersion, l'écartement qu'ont entr'eux les rayons de lumiere de dif-

» férentes couleurs lorsqu'ils sont rompus par des corps » réfringens.

» D'après les expériences de Newton, la dispersion des rayons rouges aux rayons violets est:: 1,54 : 1,56:: 77 : 78.

» Newton croyoit que le rapport étoit constant, mais » de nouvelles expériences ont appris qu'il étoit variable » pour chaque substance, dans l'eau il est : : 133 : 134 :: » 77 : 77, 5 et dans les flint-glass, verres dans les- » quels il entre de l'oxide de plomb, il est d'autant plus » considérable que la quantité de plomb est plus grande » dans le crystal observé par Clairaut, le rapport de ré- » frangibilité des rayons rouges, à ceux des rayons violets » étoit : : 158 : 161 : : 77 : 77,5.

» Zeiher a composé un verre de trois parties de mi- » nium et une de cailloux dans lequel le rapport de ré- » fraction des rayons rouges aux rayons violets étoit : : » 196 : 200 : 77 : 81,8.

» Ainsi, le rapport de dispersion dans le verre ordinaire » étant dans leur axe : : 1 : 0,5 : : 2 : 1.

: : 1 : 1,5 : : 2 : 3

» Le crystal de Zeiher : : 1 : 4,8 : : 2 : 9,6».

286. Il est aisé de reconnoître à la vue des termes confus de chacune des couleurs du spectre, et de sa figure oblongue arrondie par les bouts, qu'il n'est qu'un amas d'images circulaires du Soleil, qui sont chacune d'une couleur plus ou moins foncée, en suivant l'ordre que nous avons énoncé ci-dessus.

287. III. Si après avoir fait un trou à l'endroit du carton où le spectre FG se peint, en sorte qu'il ne passe par ce trou que des rayons rouges, on y présente un ou successivement plusieurs prismes, une ou plusieurs lentilles de verre; la lumiere qui les traversera, ne donnera plus que du rouge, quelque réflexion ou réfraction qu'on lui fasse souffrir, quelle que soit la couleur des verres au travers desquels on la fera passer, et celle des plans sur lesquels on l'arrêtera. Il arrivera seulement que ce rouge sera plus ou moins vif, selon que les couleurs de ces verres ou de ces plans seront

plus

plus ou moins analogues au rouge. Il en est de même des autres rayons colorés, lesquels étant une fois séparés des autres, ne peuvent plus perdre leur couleur.

288. On peut réunir ensemble, par une lentille de verre, deux ou trois des couleurs du spectre, et en former des couleurs composées à volonté; les nuances en varieront selon les rapports des quantités de rayons de chaque espece : on les décomposera ensuite, s'il on veut, par le moyen du prisme.

289. IV. Soit un prisme isoscele QTH (Fig. 39) rectangle en T. Que sur la face TQ on fasse tomber un faisceau AK de lumiere du soleil, à-peu-près perpendiculairement à cette face, afin qu'il puisse y entrer sans se briser, une partie DL de ce faisceau se réfléchit sur la base HQ, et sortant encore à-peu-près perpendiculairement à la face HT, (à cause de l'angle droit T), elle va en faisceau de rayons paralleles de D en M; et mettant la face GE d'un prisme FGE à-peu-près perpendiculairement à la rencontre de ce faisceau, on forme un spectre vr, avec toutes ses couleurs, (désignées ici par les premieres lettres de leur nom) quoiqu'assez foibles, à cause du petit nombre des rayons réfléchis sur HQ. Le reste de la lumiere du faisceau AD sort du prisme HTQ, réfractée et divisée en rayons de plusieurs couleurs DR, DO, DI, etc. En tournant un peu le prisme HTQ sur son axe, de sorte que l'angle d'incidence du faisceau AD sur la base HQ, commence à devenir trop grand, pour que la lumiere puisse sortir du prisme en se réfractant, et que par conséquent elle commence à ne pouvoir plus que se réfléchir, on voit d'abord disparoître le rayon violet DU, puis le pourpre DP, ensuite le bleu DB, etc. mais en même tems les couleurs v, p, b du spectre vr, deviennent successivement plus vives, ce qui fait voir que ces rayons qui disparoissent, vont en se réfléchissant sur HQ, se joindre au faisceau DM, et qu'ainsi les rayons les plus réfractés sont aussi réfléchis les premiers. Mais comme on observe constamment qu'il n'y a aucune différence sensible entre l'angle d'incidence et l'angle de réflexion d'un faisceau de rayon, il paroit que les rayons

violets ne se réfléchissent les premiers, que parce qu'ils sont déjà séparés des autres au point D, et qu'ainsi la réflexion ne se fait qu'après une réfraction faite dans un très-petit espace compris entre le point d'incidence et le point de réflexion, de sorte que les rayons infiniment peu séparés dans ce petit espace par la réfraction qu'ils y souffrent, en sortent par la réflexion sous un angle égal à celui sous lequel ils y sont entrés.

ARTICLE III.

Application générale des propriétés précédentes de la lumiere aux Télescopes et aux Microscopes.

290. DE la diverse réfrangibilité des rayons de lumiere, il suit évidemment, que ce que nous avons appellé l'*image* d'un point, faite au foyer d'un verre, ne doit être réellement qu'une suite de points colorés *r*, *o*, *i*, *u*, *b*, *p*, *v*, (Fig. 40) arrangés selon l'ordre des couleurs de l'arc-en-ciel, en sorte que le foyer *r* des rayons rouges est le plus loin du verre, et le foyer *v* des rayons violets en est le plus près. Ces derniers rayons colorés étant prolongés, après avoir coupé l'axe, vont traverser ou du moins passer sur les bords des images qui sont plus loin du verre, ce qui les rend confuses, ou du moins les fait paroître entourrées de franges colorées, dans lesquelles le bleu et le pourpre dominent ordinairement; et c'est ce que les Opticiens appelent des *Iris*.

291. Cet inconvénient tombe principalement sur les images formées par les objectifs des Télescopes et des Microscopes, et sur-tout: 1°. lorsque ces images se font loin de l'objectif, parce que la séparation d'un faisceau de lumiere en rayons colorés, causée par la réfraction, ne se faisant que sous de très-petits angles, elle devient sensible à proportion de la distance de l'image à la surface réfringente ou

réfléchissante ; 2°. lorsque l'ouverture de l'objectif est grande, c'est-à-dire, que l'étendue de la surface de l'objectif qui reçoit la lumiere, est un arc de plusieurs degrés ; parce que plus cette ouverture est grande, plus l'angle d'incidence des rayons qui tombent vers ses bords est grand ; leur réfraction est donc à proportion plus grande, et en même tems les angles des écarts des rayons colorés sont aussi plus grands ; par conséquent les couleurs sont plus séparées, et cette séparation devient plutôt sensible.

ARTICLE IV.

Application aux Télescopes et Microscopes par Réfraction.

292. PAr le calcul de la formule générale trouvée ci-dessus (182), en faisant $p = 1$, et successivement $p = 1{,}54$ pour les rayons rouges, puis $p = 1{,}56$ pour les violets, on peut voir jusqu'où peut s'étendre le spectre coloré rv (Fig. 40) dans un Télescope. Ainsi en négligeant l'épaisseur du verre, ou faisant $e = o$, $r = R$ et $d = \infty$, on réduira la formule à celle-ci, $x = \frac{p\,r}{2\,pp - 2\,p.}$ On aura donc pour le foyer des rayons rouges, $x = 0{,}9259\,r$, et pour celui des rayons violets, $x = 0{,}8928\,r$. Or, il est aisé de voir que la différence 331 entre ces deux coefficiens, est la 28e. partie du plus grand, puisque 9259 divisés par 331 ont 28 pour quotient : Donc, *lorsque l'objet est à une distance infinie, la longueur du spectre coloré, formé par la différente réfrangibilité de la lumiere, est $\frac{1}{28}$ de la longueur du foyer de la lentille.*

293. Mais parce que la lumiere est la plus dense et la moins séparée qu'il est possible vers l'endroit CD, qui est sensiblement au milieu du spectre coloré, et où par con-

séquent on peut supposer le vrai lieu de l'image des objets blancs tels que sont les astres, il suit 1°. que *dans un Télescope, les termes de la vision confuse, occasionnée par la différente réfrangibilité des rayons, sont de part et d'autre du vrai lieu de l'image des objets éloignés, à $\frac{1}{55}$ environ de la longueur du foyer de l'objectif.*

294. A cause des triangles semblables vCF, vAG, on a CF : F v :: AG : G v; donc CF est aussi $\frac{1}{55}$ de AG : donc 2°. *le diametre* CD *des franges colorées qui entourent l'image* F *d'un point fort éloigné, est* $\frac{1}{55}$ *de l'ouverture de l'objectif.*

295. REM. I. En plaçant l'image en CD, l'effet des images particulieres r, o, j, u, b, p, v, est de jetter des nébulosités sur l'image F; et l'effet des rayons qui coupent CD, est d'entourer d'*Iris* cette image F : de sorte que, chaque point sensible d'une image étant entouré d'Iris, et accompagné de nébulosité, l'image entiere d'un objet en devient confuse.

296. COROLL. I. Si l'objet vu par un Télescope est d'une certaine couleur, par exemple rouge, il est clair que pour le voir distinctement, il faut allonger la lunette en retirant l'oculaire, parce que l'image la plus distincte de l'objet est vers r. Ce seroit le contraire s'il étoit bleu ou pourpre : d'où on voit que *le foyer des Télescopes et Microscopes varie selon la couleur des objets que l'on voit par leur moyen.* Il en est de même lorsque l'on voit les astres par un tems qui n'est pas parfaitement serein ; selon que les vapeurs ou de légers nuages laissent passer plus de rayons d'une certaine couleur que d'une autre, l'image la plus sensible de cet astre se fait plus près ou plus loin de l'objectif, comme l'a remarqué Bouguer.

297. COROLL. II. Si au lieu de se servir de verre blanc pour faire l'objectif d'une lunette, on y employoit un verre coloré qui ne laissât passer que les rayons qui seroient de cette couleur, comme si on se servoit d'un verre bleu, alors les images ne pouvant être formées que par les rayons bleus

partis de l'objet, elles ne seroient ni confuses ni entourées d'*Iris*, et l'on calculeroit exactement leur vrai lieu et leur grandeur, en employant le rapport de 1 à 1,551667 dans la formule des Télescopes et Microscopes. Mais il arriveroit que ces images seroient trop foibles de lumiere pour être distinctes.

298. Coroll. III. Il est évident que les angles de dispersion des rayons colorés restans les mêmes, plus la droite AG sera petite, plus CF sera petite. On peut même dire que F ν sera aussi plus petite, à cause que l'extension du foyer causée par la sphéricité du verre sera plus petite (279). *On diminue* donc *les Iris et les nébulosités de l'image* F, *à mesure qu'on diminue l'ouverture de l'objectif.* Mais comme par ce moyen on perd de la lumiere, et à proportion de la clarté dans l'image, on voit qu'il faut régler l'ouverture des objectifs, de sorte qu'il y entre suffisamment de lumiere, que les images soient les plus nettes qu'il est possible, et sans Iris sensibles; ce qu'on ne peut déterminer que par l'expérience, et selon la bonté des verres dont on se sert.

299. Rem. II. En faisant de pareils calculs pour les microscopes, selon les circonstances et les dimensions données, on verra dans quel cas les Iris et les nébulosités occupent un espace plus ou moins considérable, et sont par conséquent plus ou moins sensibles; d'où on déterminera combien on peut donner d'ouverture à l'objectif, pour laisser entrer le plus de lumiere qu'il est possible, sans rendre l'image confuse. Pour le plus sûr, on pourra couvrir l'objectif de diaphragmes de différents diametres successivement, pour trouver celui qui fait le meilleur effet dans les circonstances présentes.

300. Rem. III. Les rayons pourpres et violets du Spectre coloré sont très-foibles, et presque toujours insensibles, à moins que l'objet n'ait une lumiere extrêmement vive, telle qu'est celle du Soleil; les rayons bleus sont même assez faibles, aussi-bien que les rayons rouges qui sont vers r. Il suit de là, 1°. que dans les Télescopes et Microscopes,

il faut diminuer de beaucoup la longueur du spectre coloré réel, pour la réduire à celle du spectre coloré sensible et celle du diametre des Iris réelles, pour le réduire à celui des Iris sensibles. M. Newton trouve qu'au lieu de $\frac{1}{55}$, on peut mettre $\frac{1}{250}$ environ. 2°. Que le vrai lieu C D de l'image F doit être placé entre les foyers des rayons jaunes et orangés, où, selon les expériences du prisme, la lumiere est la plus vive : (ce point se trouve en faisant dans la formule des foyers des verres $p = 31$ et $q = 20$).

301. REM. IV. En diminuant l'ouverture des objectifs, on n'ôte pas entiérement les Iris, on ne fait que les diminuer; et ce qui en reste, paroît d'autant moins large et moins coloré, ou pour mieux dire, moins éloigné de la couleur de l'objet, que l'ouverture de l'objectif est plus petite, et l'objet plus lumineux : d'où il suit que *les Iris augmentent le diametre apparent des images;* ce qui a lieu aussi dans les objets qu'on regarde à la vue simple : l'ouverture de la prunelle fait à l'égard des images qui s'en forment dans l'œil, ce que fait l'ouverture de l'objectif à l'égard des images qui sont à son foyer. Par cette observation on rend raison de plusieurs illusions optiques; par exemple, 1°. *pourquoi un feu vu de loin paroît sous un angle plus grand qu'on ne le trouve par le calcul de sa largeur réelle comparée à sa distance.* C'est ainsi que M. Picard observa qu'un feu large de 3 pieds, vu de nuit dans une Lunette à la distance de près de 32000 toises ou 16 lieues Parisiennes, avoit un diametre apparent de 8″, tandis qu'il ne devoit être que de 5″ et un quart. 2°. *Pourquoi les étoiles qui paroissent avoir un diametre sensible, s'évanouissent en un instant, lorsque le bord obscur de la Lune vient à les rencontrer en s'avançant assez lentement vers elles.* 3°. *Pourquoi les plus belles étoiles paroissent avoir un diametre à proportion plus petit, lorsqu'on les regarde avec un long Télescope, qu'avec un plus court,* qui par conséquent grossit bien moins les objets. Il faut remarquer que les ouvertures des objectifs des longs Télescopes sont à proportion plus petites que dans

les Télescopes plus courts. Pour un Télescope astronomique de 30 pieds de long, on ne donne que 3 pouces d'ouverture à son objectif, et pour un Télescope de 3 pieds, on donne près d'un pouce d'ouverture. 4°. *Pourquoi en considérant la Lune avec un Télescope, lorsqu'elle est encore nouvelle, et que la lumiere que la Terre lui renvoie, est assez forte pour faire voir distinctement la partie de la Lune qui n'est pas éclairée par le Soleil, on voit que le demi-cercle lumineux qui termine la Lune du côté du Soleil. est sensiblement plus grand que le demi-cercle qui la termine du côté opposé.* 5°. *Pourquoi, lorsque le bord lumineux de la Lune s'avance vers une étoile de la premiere grandeur pour la cacher, cette étoile, dont la lumiere est beaucoup plus vive que celle de la Lune, ne s'éclipse qu'après avoir paru entrer toute entiere sur le disque de la Lune;* si ce n'est que cette étoile reste visible, tant qu'elle ne se trouve pas derriere le vrai bord de la Lune, et qu'elle n'est que dans l'espace transparent qu'occupe l'Iris qui entoure la Lune *.

* *Addition des Éditeurs.* « Ces explications qui supposent que dans l'œil, chaque rayon coloré a un foyer » différent, ne peuvent plus avoir lieu, si l'on admet avec » Euler que l'œil soit acromatique: alors ces phénomènes » s'expliquent par l'irradiation de la lumiere.»

302. SCHOLIE. Il résulte en général de toutes les observations précédentes, que ce n'est que par l'expérience et selon les différentes manieres dont les corps sont éclairés et colorés, qu'on peut régler l'ouverture des objectifs des Télescopes et Microscopes, le vrai lieu des images et le diametre des diaphragmes qu'on y doit placer pour en borner le champ.

303. A l'égard de la proportion qu'il doit y avoir entre la longueur du foyer de l'objectif et celle de l'oculaire, on ne doit aussi la déduire que de l'expérience, parce qu'elle doit varier beaucoup selon les circonstances de la perfection des objectifs, et de la lumiere de l'objet. Ainsi, avec un

objectif bien travaillé, on pourra voir très-distinctement un objet fort lumineux, à l'aide d'un bon oculaire d'un foyer assez court, parce que l'image étant sans défaut sensible et bien vive à cause de la régularité du verre qui n'a pas permis aux rayons de se réunir ailleurs que vers le foyer, on la pourra voir par une Loupe qui la grossisse beaucoup : mais si l'objet est obscur, on ne peut le voir que par un oculaire qui disperse peu la lumiere de son image, et dont par conséquent le foyer ne soit pas trop court : ou si l'objectif a quelque défaut, ce qui rend aussi l'image défectueuse, parce que plusieurs des rayons qui devoient la former, se trouvent dispersés ou réunis ailleurs qu'au foyer, il ne la faut regarder qu'avec un oculaire qui grossisse peu, afin que les défauts de l'image soient moins sensibles. Les objets qu'on veut voir de jour, demandent aussi des oculaires plus foibles, à cause de la grande lumiere, qui, étant entrée dans l'œil du spectateur, l'a ébloui avant que l'œil fût appliqué à la lunette.

304. On ne peut donc établir sur toutes ces choses aucune regle constante de pratique : ce ne doit être que par l'usage des machines dioptriques, et par les mesures actuelles des dimensions de celles qui sont les plus estimées, que l'on doit se régler pour proportionner les parties de celles qu'on voudroit construire sur leur modele : ce qui doit s'entendre aussi des tuyaux, montures, et en général de tout l'appareil nécessaire pour l'usage de ces machines.

305. Nous ajouterons seulement ici les dimensions que nos meilleurs ouvriers donnent aux Lunettes et aux Microscopes ordinaires.

Pour une Lunette à quatre verres.

Longueur du Foyer des Objectifs.	Diametre de l'ouverture des Objectifs.	Longueur du Foyer des Oculaires.	Diametre du Diaphragme au Foyer de l'Objectif.	Augmentation des Diametres apparens des Objets.
1 pied	4 lignes $\frac{1}{2}$	16 lignes	4 lignes	9 fois
2	6 $\frac{1}{2}$	22	5 $\frac{1}{2}$	13
3	9	26	7	17
4	11	28	9	21
5	12	30	10	24
6	13	31	10 $\frac{1}{2}$	28
7	14	34	11	30
8	15	36	11	32

Cette table suppose que les objectifs sont bons, sans être des plus excellents; car ceux-ci pourroient supporter des oculaires d'un foyer plus court, et des ouvertures plus grandes à l'objectif et au diaphragme du foyer.

Pour les Lunettes astronomiques.

Longueur du Foyer des Objectifs.		Diametre de l'ouverture des Objectifs.		Longueur du Foyer de l'Oculaire.		Augmentation Diametres apparents des Objets
pieds	pouces	lignes	pouces	lignes	environ	fois
1	0	$6\frac{1}{2}$	0	8	20	
2	0	9	0	10	28	
3	0	$11\frac{1}{2}$	1	$0\frac{1}{2}$	34	
4	1	1	1	$2\frac{1}{2}$	40	
5	1	$2\frac{1}{2}$	1	4	44	
6	1	4	1	6	49	
7	1	$5\frac{1}{2}$	1	$7\frac{1}{2}$	53	
8	1	$6\frac{1}{2}$	1	$8\frac{1}{2}$	56	
9	1	8	1	$9\frac{1}{2}$	60	
10	1	9	1	11	63	
11	1	10	2	0	66	
12	1	11	2	2	69	
14	2	$0\frac{1}{2}$	2	3	75	
16	2	2	2	5	79	
18	2	4	2	7	85	
20	2	$5\frac{1}{2}$	2	$8\frac{1}{2}$	89	
25	2	8	3	0	100	
30	3	0	3	$3\frac{1}{2}$	109	
35	3	3	3	7	118	
40	3	6	3	10	126	
45	3	8	4	$0\frac{1}{2}$	133	
50	3	10	4	3	141	

306. Lorsque les objectifs sont excellents, on peut l donner des ouvertures plus grandes, et des oculaires d foyer plus court. C'est ainsi qu'un objectif excellent de pieds, travaillé par Campani, porte aisément un ocul de deux pouces et demi de foyer, et une ouverture d pouces de diametre: alors il amplifie 163 fois les diamet

apparents des objets célestes qui conservent une clarté suffisante.

307. Pour un microscope à trois verres, l'oculaire doit être d'un pouce de foyer, et d'environ 9 lignes de diametre ; le verre du milieu placé à huit lignes de distance de l'oculaire, doit avoir 18 lignes de foyer, et un pouce de diametre. On y peut ajuster différentes Lentilles objectives de rechange; par exemple, de 6, de 4, de 2, de 1 lignes de foyer: mais les ouvertures de ces Lentilles doivent être petites, et assujetties à la bonté des verres. Leur distance à l'oculaire peut être de six pouces environ. *

Des Lunettes acromatiques.

* *Addition des Éditeurs.* « On suppose ordinaire-
» ment dans la construction des instrumens dioptriques,
» que les rayons lumineux paralleles qui traversent une
» lentille, vont se réunir au foyer; mais, en faisant même
» abstraction de l'aberration de sphéricité, si l'on fait at-
» tention que la distance du foyer à la lentille dépend de
» la réfrangibilité, laquelle est différente pour chaque es-
» pece de rayons colorés, on se convaincra qu'il y a au-
» tant de foyers que d'especes de rayons colorés, et on s'as-
» surera facilement que tous ces foyers sont placés entre
» le foyer des rayons rouges et celui des rayons violets:
» que le foyer de ceux-ci est le plus près de la lentille et
» que le foyer de ceux-là est le plus éloigné; qu'enfin, la
» distance entre ces deux foyers augmente proportion-
» nellement au rayon des faces de la lentille; d'où il suit
» que les objectifs dont le rayon est très-grand ont une
» *aberration de réfrangibilité* considérable, c'est ainsi
» que l'on appelle la distance du foyer des rayons rouges
» à celui des rayons violets.

» Si l'œil est placé au foyer d'une espece de rayons co-
» lorés, il verra l'objet de la couleur de cette espece de
» rayons, et il n'y aura aucun point auquel il puisse re-
» cevoir de la lumiere blanche, mais en vertu de l'aber-

» ration de sphéricité ; le foyer de chaque espece de rayons
» colorés n'est pas un point unique, ensorte que plu-
» sieurs rayons de diverses couleurs se réunissant, il peut
» en résulter de la lumiere blanche.

» Lorsqu'un faisceau de lumiere blanche traverse une
» lame de verre dont les deux faces sont paralleles, il ne
» se colore pas sensiblement, et si les deux faces ne sont
» pas paralleles, il se colore aux bords, et la coloration est
» d'autant plus sensible que l'angle des faces du verre est
» plus grand. Or, les faces des lentilles sont d'autant plus
» obliques l'une à l'autre, qu'elles s'écartent plus de l'axe,
» et dans le voisinage de l'axe, elles sont presque paralleles:
» donc la lumiere qui arrivera à l'œil par le milieu de la
» lentille sera sensiblement blanche, et celle qui arrivera
» par les bords sera colorée.

» On a cru long-tems qu'il étoit impossible de corriger
» l'aberration de réfrangibilité. Euler, (*Mémoires de*
» *Berlin, tome III,*) a proposé d'employer des lentilles
» composées de substances différemment réfringentes, il
» étoit persuadé que les yeux sont *acromatiques*, c'est-
» à-dire, qu'ils réunissent en un point toutes les especes
» de rayons colorés, et pensoit qu'en imitant la nature,
» on pourroit parvenir au même résultat, il chercha, par
» le calcul, les rayons de courbure des surfaces qui doi-
» vent séparer des substances de réfrangibilité données
» pour former un lentille acromatique ; mais employant
» ensuite des nombres fondés sur des hypotheses, au lieu
» des véritables réfrangibilités des rayons colorés, les ré-
» sultats auxquels il arriva ne furent d'aucune utilité. —
» *Dollond*, opticien anglais, voulut employer les ré-
» frangibilités résultantes des expériences de Newton, et
» trouva, en se servant du calcul d'Euler, que le moyen
» proposé par ce géomètre, ne pouvoit réussir. *Klen-*
» *genstierna* s'éleva contre les résultats de Newton, et
» conduisit Dollond à en douter : dès-lors, celui-ci ré-
» péta l'expérience de Newton, et trouva que Newton
» s'étoit trompé. Il prit ainsi que Newton un prisme

» d'eau compris entre deux lames de verre, il plaça » dans l'intérieur un prisme de verre, et fit varier l'angle du » prisme d'eau jusqu'à ce que la lumiere sortit dans une » direction parallele à celle selon laquelle elle étoit arrivée : » Newton avoit annoncé qu'alors la lumiere sortoit blanche ; Dollond ne trouva pas le même résultat, et s'assura » que quand la lumiere sortoit blanche, elle n'avoit plus » la même direction qu'avant d'avoir traversé les deux » prismes. Cette expérience de laquelle on avoit conclu les » rapports de réfrangibilité des rayons colorés s'étant » trouvée inexacte, Dollon mesura les dispersions de plusieurs substances, il trouva que celles des verres que » l'on appelle aujourd'hui flintglass et crownglass étaient » dans le rapport de trois à deux ; il employa ces deux » verres à former une lentille qu'il parvint à rendre acromatique.

» Les objectifs acromatiques ont été long-tems composés de deux lentilles de crownglass, séparées par un verre » de flintglass concave des deux côtés : lorsque la lumiere » en entrant dans la premiere lentille de crownglass s'étoit » réfractée et décomposée, elle entroit dans le flintglass, » où la réfraction des rayons colorés se faisoit plus fortement et en sens contraire ; de là elle passoit par la seconde lentille de crownglass qui réunissoit au même » point les rayons colorés que le flintglass avoit trop » écartés.

» On n'emploie plus aujourd'hui pour construire les » objectifs que deux verres accolés (Fig. 114), le premier » A D B G est une lentille de crownglass, le second est » un verre de flintglass bi-concave D B G H I C E.

» Plusieurs géometres ont calculé les rayons des faces » des lentilles acromatiques, nous ne pouvons pas faire » connoître leurs recherches ; nous nous bornerons à montrer la possibilité d'appliquer le calcul à ces sortes de questions. Nous prendrons le cas où les objectifs sont composés de deux verres, et pour simplifier, nous supposerons, 1°. que les deux rayons de la lentille de crownglass

» sont égaux; 2°. Que les deux verres sont assez minces » pour qu'on puisse négliger leurs épaisseurs.

» Nommons d la distance AL du point lumineux à la » lentille ADBG, r le rayon de l'arc GAD; celui de » l'arc DBG sera $-r$, et soit R le rayon inconnu de » l'arc ECH. Le rayon de lumiere LM en arrivant à la » la surface AD se rompra, et prendra la direction MF'', » arrivé en N, il changera encore de direction et se diri- » gera suivant NF', jusqu'au point O, où se rompant » pour la troisieme fois, il se rendra au foyer F. Appelons » le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfrac- » tion : m lorsque la lumiere passe de l'air dans le crow- » glass; n lorsqu'elle passe de l'air dans le flintglass, alors » le rapport des sinus des mêmes angles sera $\frac{1}{n}$ lorsqu'elle » passera du flintglass dans l'air, et $\frac{n}{m}$ lorsqu'elle passera » du crownglass dans le flintglass.

» Or, on sait que l'on a $AF'' = \frac{dmr}{(m-1)d-r}$ et parce que » BF'' diffère très-peu de AF'', on aura $BF' = \frac{dmr}{(m-1)d-r}$ » on aura de même en faisant attention aux quantités qui » sont négatives, et que BF' peut être pris pour CF', » on aura, dis-je, $CF' = \frac{BF'' \times \frac{rn}{m}}{-\left(\frac{n}{m}-1\right)BF''+r}$, et $CF =$ » $\frac{CF' \times \frac{R}{n}}{-\left(\frac{1}{n}-1\right)CF'+R}$ substituant pour CF' et BF'' leurs va- » leurs dans celle de CF et réduisant, on aura $CF = \frac{drR}{(n-1)dr+(2m-n-1)dR-rR}$. Supposons maintenant que » les rapports m et n soient ceux qui sont relatifs à la » lumiere rouge, et nommons m' et n' les mêmes » rapports pour la lumiere violette nous aurons aussi

» $CF = \frac{dr\,R}{(n'-1)\,dr + (2m'-n'-1)\,dR - r\,R}$ égalant ces deux » valeurs et réduisant, on a $nr + 2mR - nR = n'r$ » $+ 2m'R - n'R$, d'où l'on tire $R = r \times \frac{n'-n}{n'-n-2(m-m')}$: » or, l'expérience donne n 1,585 ; $n' = 1{,}615$; $m =$ » 1,54 ; $m' =$ 1,56 : donc $R = -3r$.

» Nous avons fait trop d'abstractions pour que ce ré- » sultat soit utile aux opticiens, le calcul exact conduiroit » à une valeur de R qu'il seroit incommode d'employer ; » les artistes aiment mieux user les verres en tâtonnant, » que d'employer le calcul qui, d'ailleurs, exigeroit des » expériences préliminaires sur les dispersions des subs- » tances qui sont à leur disposition ».

ARTICLE V.

Application aux Télescopes et Microscopes Catadioptriques.

308. L'Expérience a fait voir que les images formées par réflexion n'étoient pas à beaucoup près si sujettes à être confuses que celles qui sont formées par la réfraction. On conçoit en effet que puisque les rayons, après s'être séparés par la réfraction, vont en s'écartant de plus en plus, les différens faisceaux qu'ils forment, doivent se distinguer de plus en plus par leurs couleurs. Mais dans la réflexion, la séparation des rayons paralleles ne se fait, pour ainsi dire, que dans le point d'incidence, ou que dans l'intervalle compris entre le point d'incidence et le point de réflexion. Après la réflexion, ces rayons infiniment peu séparés sont encore sensiblement paralleles, ce qui fait qu'on ne peut appercevoir cette séparation de rayons : il arrive seulement que les faisceaux de rayons réfléchis sont tant soit peu plus gros qu'auparavant. On ne doit donc pas appercevoir des

Iris dans les Télescopes Catadioptriques, mais seulement un peu de confusion dans les images, causée en partie par ce renflement des faisceaux, en partie par la sphéricité des miroirs. D'où il suit qu'on peut donner une ouverture beaucoup plus grande aux miroirs objectifs des Télescopes et Microscopes, qu'aux verres objectifs de même foyer, ce qui doit rendre les images par réflexion, beaucoup plus vives, et par conséquent distinctement visibles à l'aide d'une lentille d'un foyer très-court : elles peuvent donc paroître très-grandes sans cesser d'être claires; avantages qu'on ne peut se procurer avec des Télescopes par réfraction, à moins qu'ils ne soient d'autant plus longs (comme les tables de l'article précédent le font voir,) et par conséquent d'autant plus incommodes à manier.

309. Dans l'usage des Télescopes Catadioptriques de la premiere espece (décrite N°. 246) on se sert de différents oculaires, selon la lumiere de l'objet que l'on veut voir, et selon la grandeur dont on veut que son diametre apparent soit augmenté. Voici les dimensions qu'on peut donner aux parties de ce Télescope, pour faire un bon effet. (Voy. Smith, Tome I. pag. 364).

Longueur du Foyer du Miroir concave.		Diametre de l'ouverture du Miroir.		Longueur moyenne du Foyer de l'Oculaire.		Augmentation des Diametres apparents des Objets.
pieds		pouces	lignes	lignes	centiemes	environ
1/2		0	11	2 ,	00	36 fois
1		1	6	2 ,	39	60
2		2	6	2 ,	83	102
3		3	3	3 ,	13	138
4		4	1	3 ,	37	171
5		4	10	3 ,	54	202
6		5	7	3 ,	73	232
7		6	3	3 ,	88	260
8		6	11	4 ,	01	287
9		7	7	4 ,	13	314
10		8	2	4 ,	24	340
11		8	9	4 ,	34	365
12		9	4	4 ,	44	390

A l'égard du petit miroir plan I H (Fig. 35) il doit être ovale, parce qu'il coupe sous un angle de 45° l'axe A o' du cône D o' D de rayons incidens parallélement à l'axe: ses dimensions se reglent sur l'espace que tous les rayons réfléchis occupent à l'endroit où on doit poser le miroir, pour faire usage de l'oculaire, dont le foyer est le plus court; ce qui se peut aisément calculer. J'ai un pareil Télescope, dont le foyer du miroir objectif est de 2 pieds: le petit miroir a près de 7 lignes dans sa plus grande largeur, et 5 dans sa plus petite.

De l'Iris.

* *Addition des Éditeurs.* « La réfraction de la lumiere » à travers des molécules d'eau disséminées dans l'air pro- » duit ce météore appelé *Iris* ou *Arc-en-Ciel*, formé d'un » ou de plusieurs arcs colorés que l'on observe sur les » parties obscures du ciel, quand on a le dos tourné vers » le Soleil et qu'il pleut à une certaine distance. Quelque- » fois on n'apperçoit qu'un seul arc; le plus souvent on » en distingue deux; et dans quelques circonstances on en » a vu trois ou quatre. Chaque arc présente toutes les cou- » leurs qui résultent de la décomposition de la lumiere » blanche par le prisme et dans le même ordre; mais » cet ordre est inverse d'un arc à l'autre.

Ainsi un arc d'un rang impair présente du dedans au dehors les couleurs dans cet ordre:	Le violet. Le bleu. Le vert. Le jaune. L'orange Le rouge.
Un arc d'un rang pair présente du dedans au dehors les couleurs dans cet ordre:	Le rouge. L'orange. Le jaune. Le vert. Le bleu. Le violet.

» L'intensité des couleurs des arcs apperçus va toujours » en diminuant, à partir de l'arc inférieur qui est aussi le » plus souvent observé.

» On a mesuré l'angle dont l'œil du spectateur étant » le sommet, un côté passe par le centre du Soleil et » l'autre par un point d'un arc coloré ; on a trouvé que » cet angle étoit constant pour tous les points d'un même » arc. Chacun des arcs doit donc nous paroître un cercle; » puisqu'il est sur la surface d'un cône droit dont l'œil » est le sommet, et l'axe la ligne menée par le centre du » soleil. Toutes les observations ont constamment donné » ces résultats : l'angle correspondant au cercle violet de » l'arc inférieur de 40° 16′; celui du cercle rouge du » même arc de 42° 11′: ce qui donne à cet arc, ou » plutôt à cette zône, une largeur de 1° 55′: celui » du cercle rouge du second arc, de 50° 58′, celui du » cercle violet du même arc, de 54° 9′; ces deux arcs » comprennent donc une zône de 3° 11′: etc.

» En observant des chutes d'eau considérables, dans les- » quelles ce liquide est extrêmement divisé; des jets d'eau » qui s'élevent à une très-grande hauteur; des roues à eau » dont le mouvement est très-vif; enfin tout ce qui divise » et dissemine l'eau dans l'air, on remarque des phéno- » menes analogues aux Iris ; mais il faut toujours être » placé entre le soleil et cette eau.

» Depuis long-tems les physiciens cherchoient à expli- » quer un météore si constant dans ses apparences; lors- » que *Antoine de Dominis*, en 1611, fit voir que l'arc » inférieur résultoit de la décomposition de la lumiere, en » pénétrant dans les gouttes d'eau, et de la réflexion de » cette lumiere au fond des gouttes; que le second arc » étoit formé par deux réflexions au fond des gouttes; le » troisieme, par trois réflexions, etc. *Descartes* remar- » qua que son explication n'étoit pas suffisante, et c'est à » Newton que l'on doit la plus complette.

» Les gouttes d'eau suspendues dans l'air et formées » par l'adhérence de leurs molécules, ont une forme à-

peu-près sphérique; examinons donc ce qui doit résulter de l'arrivée d'un faisceau cylindrique de rayons » paralleles sur la surface d'une sphere transparente. Ce » cylindre étant nécessairement tangent à la sphere, est » circulaire et a pour axe le rayon de lumiere qui passe » par le centre de cette sphere: voyons pour plus de simplicité ce qui aura lieu dans un plan méridien quelconque.

» D'abord, tout rayon de lumiere qui arrivera dans ce » méridien sur ce cercle transparent se réfractera et se » réfléchira dans ce plan, puisqu'il coupe la sphere en » deux parties symétriques. De plus, 1°. le rapport entre » le sinus de l'angle d'incidence et celui de l'angle de réfraction, est constant, pour deux mêmes milieux; 2°. » l'angle d'incidence égale celui de réflexion. D'après ces » loix connues, la marche de la molécule lumineuse est » déterminée; nous allons chercher l'expression générale » de l'angle formé par le rayon incident et le rayon émergent, et que l'on appelle *angle d'émergence*.

Soient
π = La demi-circonférence qui a l'unité pour rayon,
y = La moitié de l'angle cherché,
m = L'angle d'incidence,
n = L'angle de réfraction,
p = Le nombre de réflexions.

» N'oubliant pas les lois ci-dessus indiquées, et d'après » la Figure 118 qui représente la coupe par un plan méridien, il est facile de voir que BC = CD = DE =, etc.

» et que le triangle ABO donne

» $OAB = y = \pi - ABO - AOB$

» $ABO = \pi - m$

» $AOB = \frac{1}{2}\{2\pi - (p+1)BOC\}$,

» le triangle B C O étant isoçele donne

» $BOC = \pi - 2n$,

» d'où substituant, on a :

» $y = (p-1)\frac{\pi}{2} - \{(p+1)n - m\}$ .... (A).

» Lorsque l'on trouvera y négative, cela indiquera que » le rayon émergent A E ne rencontre pas le rayon inci- » dent, mais son prolongement. Cette formule donnera la » valeur de y pour chaque valeur de m ; car n est fonction » de m, par l'équation $\frac{\sin. m}{\sin. n} = a$.

» Remarquons que a ayant une valeur particuliere » pour chaque rayon coloré, un seul rayon blanc inci- » dent produira une infinité de rayons émergens diverse- » ment colorés ; les rayons incidens qui précedent et qui » suivent subissent la même décomposition ; d'un seul » point de la goutte d'eau, il arrivera donc à l'œil une in- » finité de molécules lumineuses de couleurs différentes, » ce qui donnera au spectateur la sensation du blanc, ou » plutôt de la couleur du nuage. Il faut donc que parmi » la foule des rayons incidens il y en ait quelques-uns » qui se comportent d'une maniere particuliere.

» En effet, on conçoit que si un rayon émergent co- » loré est tel qu'il y en ait un autre infiniment voisin qui » lui soit parallele, la réunion de ces rayons partant d'un » même point, produira sur l'œil une sensation beau- » coup plus forte que celle des autres rayons qui sont » isolés ; puisque de plus il y aura non-seulement deux » molécules de même couleur qui partiront d'un même » point, mais un bien plus grand nombre : les rayons » émergens qui précedent et qui suivent devant très peu » diverger à cause de la loi de continuité. On appelle » rayon efficace ce faisceau coloré qui sort parallele : c'est » celui que l'on doit distinguer parmi les autres, et qui » donne naissance à l'Iris.

» Si deux rayons émergens consécutifs sont paralleles, » il faudra qu'à un accroissement infiniment petit de m » en corresponde un de y qui soit nul; ou en d'autres ter- » mes que la limite du rapport $\frac{\Delta y}{\Delta m} = o$: Or, cette li- » mite est $\frac{dy}{dm}$, il faut donc pour les rayons efficaces que y » soit tel que $\frac{dy}{dm} = o$. Exprimons cette condition: Pour » cela, différencions l'équation (A), on aura:

$$\text{» } \frac{dy}{dm} = -\left\{ (p+1)\frac{dn}{dm} - 1 \right\} = o$$

» on a aussi sin. $m = a$ sin. n,

» qui différenciée, donne:

$$\text{» } \frac{dn}{dm} = \frac{\text{cosin. } m}{a \text{ cosin. } n}$$

» Eliminant $\frac{dn}{dm}$, il résulte

» $(q+1)$ cosin. $m = a$ cosin. n

» élevant cette équation au quarré et ajoutant » celle (sin. $m)^2 = a^2$ (sin. $n)^2$; on trouve

» $(q+1)^2$ cos. m^2 + sin. $m^2 = a^2$

» Ou

$$\text{» } \left\{ (q+1)^2 - 1 \right\} \text{Cos. } m^2 = a^2 - 1$$

$$\text{» et cos. } m = \pm \frac{\sqrt{a^2 - 1}}{\sqrt{(q+1)^2 - 1}} \quad \ldots\ldots \text{(B)}.$$

» Au moyen de cette formule et des tables circulaires, » a étant connu pour chacun des rayons colorés, nous » pourrons trouver m; n sera déterminée par l'équation » $\frac{\text{sin. } m}{\text{sin. } n} = a$ et enfin y par l'équation (A). »

» Nous sommes maintenant en état d'expliquer com- » plettement le phénomene. Soit CD, Fig. 119, la ligne » menée par l'œil et le centre du soleil: un plan quel-

» conque passant par cette ligne, coupera l'horizon suivant AB, et contiendra deux (*) faisceaux de rayons rouges efficaces, paralleles et produits par une seule réflexion. L'un de ces faisceaux passera au-dessus du spectateur; tandis que l'autre rencontrant la ligne CD, il y aura nécessairement un de ses rayons qui frappera l'œil situé en O, et qui fera voir un point rouge dans la direction O I. Le même effet aura lieu dans tous les plans passant par la ligne C D; le spectateur verra donc un cercle rouge tel que l'angle I O D = $2y$. Ce que nous avons dit des rayons rouges efficaces, à la premiere réflexion, peut s'appliquer à tout autre rayon efficace dû à un nombre quelconque de réflexions. Or, y étant calculée par les formules ci-dessus, a la même valeur que celle donnée par l'observation; la théorie se trouvant ainsi parfaitement d'accord avec les faits, l'explication est aussi satisfaisante qu'on pouvoit l'espérer.

» On voit ainsi, comment, lorsque le soleil se trouve élevé au-dessus de l'horizon d'un angle plus grand que celui d'émergence d'un rayon efficace, le cercle correspondant de l'arc-en-ciel cesse d'être apperçu.

» Les Iris produits par la lune ont été beaucoup moins observés, parce qu'ils sont presque toujours insensibles, la lumiere que nous envoie cet astre étant moins intense que celle du soleil. Nous n'en avons point parlé, l'explication étant absolument la même. »

CHAPITRE VII.

Diverses Questions sur l'Optique.

LA nécessité d'être court dans les leçons, et la connexion trop intime d'un grand nombre des parties de l'optique avec la Physique Expérimentale, qui ne fait pas l'objet de nos Exercices, nous ont obligé de passer sur une

(*) Cos. m ayant deux valeurs.

infinité de recherches curieuses et intéressantes. Cependant pour tenir lieu de supplément à ce qu'il y a de moins dépendant de la Physique, et pour exercer les commençans, nous allons proposer quelques questions, en indiquant seulement les réponses.

310. I. *Pourquoi voit-on de grandes traînées de lumiere, lorsqu'on reçoit un coup à la tête dans l'obscurité?*

Le coup ébranle et fait trémousser pendant quelque tems toutes les parties élastiques de la tête, et par conséquent les fibres des nerfs optiques, ce qui excite une sensation pareille à celle d'une lumiere confuse.

311. II. *Pourquoi voyons-nous beaucoup mieux à travers les vîtres les passans dans la rue, que les passans ne nous voient à travers les mêmes vîtres?*

Ceux qui sont dans la rue, sont dans un grand jour, où le peu de rayons qui sortent de la chambre par les vîtres fait peu d'impresssion; c'est le contraire pour ceux qui sont dans la chambre.

312. III. *Pourquoi en regardant au jour la tête d'une éguille posée près de l'œil, et entre l'œil et un carton percé d'un très-petit trou d'éguille, cette tête paroît-elle derriere le carton et renversée?*

On ne la voit pas en-deçà du carton, parce qu'elle est trop près de l'œil, et on la voit au-delà et renversée, par la même raison qu'un spectateur placé en dehors d'une chambre obscure, et qui y pourroit regarder par le trou, sans empêcher la lumiere d'y entrer, verroit les images renversées des objets extérieurs.

313. IV. *Pourquoi un charbon allumé tourné rapidement paroît-il faire un ruban de feu?*

L'impression de la lumiere sur la rétine, y cause des trémoussements qui ont une certaine durée, pendant laquelle la sensation reste la même : et ces trémoussements durent pendant le tems de la révolution du charbon, lorsqu'on lui fait décrire très-rapidement un petit cercle.

Le sens de la vue est un des plus paresseux : le passage

successif et rapide de plusieurs couleurs différentes, n'y peut donc faire autant d'impressions distinctes, ni procurer à la vue un plaisir semblable à celui qu'on procure à l'oreille par une suite de sons harmonieux produits rapidement.

314. V. *Pourquoi voit-on souvent un grand nombre de nuages blancs, disposés en bandes circulaires, peu larges, et qui se réunissent toutes à un même point dans l'horizon?*

Quand des nuages fort légers, et par conséquent fort hauts, sont détachés les uns des autres, un vent un peu élevé et parallele à l'horizon, les chasse tous du même côté en longues bandes paralleles entr'elles et à l'horizon, lesquelles doivent (82) paroître tendre à un même point de réunion dans la ligne de niveau qui passe par l'œil, et par conséquent dans l'horizon. Et parce qu'on voit ces bandes fort éloignées, comme si elles étoient couchées sur le fond de la voûte céleste, elles paroissent circulaires.

315. VI. *En regardant un Lustre allumé, suspendu à une longue corde, et qui tourne sur son axe, pourquoi arrive-t-il souvent que les uns soutiennent qu'il tourne dans un sens, et les autres dans le sens opposé, quoiqu'on le voye du même endroit?*

Les bougies allumées forment un cercle; on rapporte le mouvement du Lustre au diametre qui passe par l'œil. A une distance un peu considérable, on ne peut s'assurer quelle est la bougie qui est à l'extrémité de ce diametre la plus éloignée de l'œil (89), sur-tout quand le plan du cercle passe à-peu-près par l'œil, ou quand on ne fait pas attention à l'effet de la perspective. Donc de deux personnes qui prendront la bougie la plus proche, l'une comme la plus proche, l'autre comme la plus éloignée, le premier verra le Lustre tourner dans un sens, le second dans le sens opposé.

La même chose peut arriver à deux personnes qui ne voyent que très-obliquement le plan d'une girouette, ou celui des ailes d'un moulin-à-vent un peu éloigné.

316. VII. *D'où vient l'éblouissement qu'on sent en passant de l'obscurité à un grand jour, et l'aveugle-*

ment en passant du grand jour dans une obscurité médiocre ?

Dans l'obscurité, la prunelle est extrêmement ouverte; dans le grand jour, son ouverture est fort petite. Le mouvement de l'Iris par lequel cette prunelle se dilate ou se contracte n'est pas fort prompt : la lumiere qui tombe subitement sur la prunelle très-ouverte, entre en trop grande quantité pour faire une image distincte (288); elle ébranle trop subitement et trop violemment les organes de la vue, c'est l'éblouissement. Un œil dont la prunelle est très-resserrée, et qui passe subitement dans l'obscurité, ne reçoit pas d'abord assez de lumiere pour distinguer quelque chose, c'est l'aveuglement : il ne cesse que lorsque la prunelle a eu le tems de se dilater suffisamment.

317. VIII. *Pourquoi un objet posé fort près de l'œil, et vu par un très-petit trou d'épingle fait dans un feuillet de papier noirci, paroît-il d'autant plus gros qu'il est plus près de l'œil, tandis qu'en le regardant sans ce petit trou, il paroît sensiblement de la même grosseur, quoiqu'on le mette à différentes distances de l'œil.*

La vision se fait parfaitement par ce trou (213), et le papier posé sur l'œil, arrête la vue des objets circonvoisins, et ne laisse à juger de la grosseur des objets, que par la grandeur des images formées dans l'œil.

318. IX. *Pourquoi un papier mouillé paroît-il plus gris et plus transparent ?*

Un papier sec a ses pores embarrassés de filets entrelacés; la liqueur qui pénétre les pores range ces filets, et ces pores deviennent comme de petits tuyaux pleins de liqueur et propres à transmettre la lumiere : ce qui donne au papier la transparence en lui ôtant l'éclat qu'il tenoit des rayons qui ne pouvoient le pénétrer.

319. X. *Pourquoi certaines personnes voyent-elles plus clair la nuit que d'autres.*

Ce sont principalement les myopes qui voyent distinctement et sans effort les objets voisins, au lieu que ceux

qui ont une bonne vue ordinaire, sont obligés de serrer les yeux et par conséquent de rétrécir leur prunelle, pour voir les objets fort proches, ce qui fait qu'ils en reçoivent beaucoup moins de lumiere que les myopes.

320. XI. *Pourquoi les Myopes voyent-ils ordinairement les objets éloignés plus gros que ceux qui ont une bonne vue?*

Les images distinctes ne se font dans l'œil qu'au point d'intersection des rayons de lumiere partis d'un même point: l'œil myope ne reçoit sur la rétine tous ces rayons qu'au-delà de leur point d'intersection, et par conséquent en un endroit où ces rayons sont des faisceaux plus écartés.

321. XII. *Pourquoi ceux qui deviennent presbytes ne peuvent-ils plus lire une écriture fine qu'en l'exposant au Soleil, ou qu'en mettant une forte lumiere fort près de cette écriture?*

Une lumiere très-vive fait rétrécir leur prunelle, et la réduit à n'être presque qu'un très-petit trou, au-travers duquel la vision est distincte (213).

322. XIII. *Pourquoi ceux même qui ont la vue fort bonne, croyent-ils voir une espece de visage dans la Lune pleine, tandis qu'avec un Télescope on n'en voit aucune apparence?*

Il y a sur la Lune, et sur-tout vers deux de ses bords opposés, de grandes taches, ou pour mieux dire, de grands espaces plus obscurs que le reste: (les Astronomes appellent ordinairement ces grands espaces obscurs, *les Mers de la Lune*). Ces amas de grandes taches ne vont pas jusqu'aux bords de la Lune, ni jusqu'au centre; mais ils sont disposés de part et d'autre du centre, et séparés par une bande plus claire qui traverse la Lune par le milieu de son disque, et qui est cependant entrecoupée vers ses deux bouts, de taches longues et étroites et de pointes brillants. Il n'y a pas de doute que la grande distance de la Lune à la Terre, et l'éclat de sa lumiere totale, n'empêchent de voir bien distinctement les vraies figures de ces espaces clairs et obscurs. Cela joint au préjugé reçu à la vue des images de la

pleine Lune dessinée comme un visage, fait que les deux grands espaces obscurs, bordés d'un clair vif vers la circonférence de la Lune, et séparés par un clair vers le milieu, paroissent être comme des joues, cet espace clair du milieu comme un nez, et les clairs semés d'obscurs vers ses deux extrémités semblent former le reste du visage. Mais le Télescopes faisant voir distinctement toutes les parties de la Lune bien terminées, cette apparence de visage s'évanouit entiérement.

323. Ceci nous conduit à une observation importante. Si l'éclat de la lumiere de la Lune étoit la principale cause de la confusion avec laquelle on voit ses taches, on y remédieroit aisément, en la regardant par un petit trou (212). Cependant quoique ces taches soient assez grandes, et quelque excellente que soit la vue de l'Observateur, on ne peut les voir bien terminées qu'à l'aide d'un Télescope: il faut donc que la Lune soit au-delà de la portée des meilleurs yeux; et comme elle est éloignée de la terre d'environ 90000 lieues, que par conséquent les rayons qu'un même point de sa surface nous renvoie, sont aussi sensiblement paralleles qu'il est possible, il suit clairement que *le parallélisme de rayons de lumiere, en entrant dans un œil d'une vue excellente, n'y cause pas une vision distincte, mais qu'au contraire il leur faut toujours un peu de divergence:* sans cela en effet les objets les plus éloignés se verroient très-distinctement; ce qui est évidemment faux et contraire à l'expérience. Par le moyen des Télescopes, on peut procurer aux rayons de lumiere la divergence qui leur est nécessaire; on peut par conséquent voir toujours les objets distinctement, toutes choses d'ailleurs égales. Mais pour cela le foyer de l'oculaire ne doit pas concourir exactement avec le lieu de la vraie image formée par l'objectif; il doit être tant-soit-peu au-delà, afin que les rayons en sortent divergens. La différence néanmoins est presqu'imperceptible dans les Télescopes; mais elle est sensible dans les Microscopes tant simples que composés, à proportion de l'augmentation qu'ils donnent aux diametres

apparents des objets et selon la conformation de l'œil de celui qui s'en sert. C'est pourquoi il ne faut pas prendre à la rigueur les regles générales que nous avons données, tant pour la construction que pour le calcul des effets des Télescopes et Microscopes, et qui supposent que pour la vision distincte des images, les rayons doivent sortir des oculaires en faisceaux paralleles. Nous nous sommes arrêtés à cette hypothese, parce que le parallélisme est un cas simple, et qu'il est à très-peu-près celui qui convient à la nature des yeux bien conformés. Ces regles peuvent donc passer pour suffisamment exactes dans les Télescopes; mais dans les Microscopes on doit les regarder comme propres à déterminer à-peu-près les circonstances nécessaires pour voir distinctement les objets, et pour connoître le rapport entre leur grandeur réelle et leur grandeur apparente, en sorte qu'il n'y ait plus qu'un très-petit tâtonnement à faire, pour avoir la meilleure position des verres entr'eux et par rapport à l'objet, et qu'à corriger le calcul des règles générales, par la mesure des dimensions que l'expérience aura déterminées dans les différens cas.

324. XIV. *Pourquoi, lorsque le Soleil ou une autre lumiere vive éclaire le dedans d'un vase rond, voit-on en dedans de ce vase deux especes de demi-cercles lumineux qui se joignent en forme de cœur, et dont le point de réunion se rapproche d'autant plus du centre ou de l'axe du vase, que la lumiere se rapproche aussi de ce vase?*

Ces courbes lumineuses sont l'effet des intersections très-voisines des rayons de lumiere réfléchis sur chacun des points consécutifs de la demi-circonférence concave du vase qui est éclairée, comme la Figure 41 le fait voir. Le point B est le foyer de cette demi-circonférence, et sa distance au centre dépend (145) de celle de l'objet lumineux à la circonférence éclairée. Les deux courbes AB, B C, s'appellent *caustiques par réflexion.*

325. XV. *Pourquoi en poussant une épée nue vers un grand miroir sphérique-concave, fait-on peur à ceux qui se regardent dans ce miroir?*

Lorsque l'épée est située entre le centre et le foyer du miroir, son image renversée est en-deçà du miroir et du même côté que les spectateurs; cette image s'éloigne du miroir (143) à mesure que l'épée en approche réellement: la pointe semble par conséquent se porter vers les spectateurs.

326. XVI. *Lorsque le Soleil, la Lune ou un flambeau éclairent une eau courante, comme une riviere, pourquoi voit-on sur sa surface une très-longue traînée lumineuse, tremblante et interrompue?*

Les parties de l'eau courante glissent les unes sur les autres en petites lames, qui font l'effet d'autant de petits miroirs plans différemment inclinés, et qui changent à tout moment de grandeur, de place, de vîtesse et d'inclinaison: elles se présentent tantôt du côté du spectateur, tantôt à l'opposite.

327. XVII. *En regardant fort obliquement dans une glace de miroir, pourquoi y voit-on cinq ou six images d'une bougie allumée et posée tout près du miroir?*

L'épaisseur de la glace est composée de plusieurs couches ou lames de verres posées les unes sur les autres, et dont les surfaces font l'effet d'autant de miroirs plans.

328. XVIII. *Pourquoi, lorsqu'un bâton droit est à demi-enfoncé dans l'eau, paroît-il toujours tellement brisé à la surface de l'eau, que lorsque l'œil d'un spectateur est dans le plan de l'angle brisé, la portion qui est dans l'eau semble d'autant plus courte et d'autant plus inclinée vers le spectateur et vers la surface de l'eau, que la portion qui est hors de l'eau est plus inclinée vers la surface de l'eau du côté où est le spectateur.*

La réponse est facile à la simple inspection de la Figure 42, où les rayons HT, GT, qui partent du bout T du bâton, étant brisés, puis reçus par l'œil en O dans les directions HO, GO, ils paroissent concourir en r; de sorte que l'œil en O voit la partie BT du bâton, comme si

elle étoit B *r*, au lieu que l'œil en *o* la voit comme si elle étoit B *t*.

329. XIX. *Pourquoi les objets vus à travers une masse d'eau ou un morceau de glace de miroir un peu épais paroissent-ils plus gros, plus proches, et souvent plus clairs ?*

Soit I K (Fig. 43) l'ouverture de la prunelle. L'objet O se voit à travers le verre par les rayons extrêmes O B D I, O C E K, qui paroissent venir du point *o*, et former un angle I *o* K plus grand que l'angle à la vue simple I O K. Les rayons qui tombent de l'objet sur le verre entre B et C, parviennent à l'œil; à la vue simple, il n'y peut parvenir que les rayons compris entre F et G, et qui sont par conséquent en moindre quantité.

330. XX. *Pourquoi un plongeur ne peut-il voir que très-confusément les objets lorsqu'il est dans l'eau ?*

La réfraction des rayons à l'entrée de l'air dans l'eau, est presqu'aussi grande que celle qui se fait dans notre œil : donc lorsque l'œil est dans l'eau, il ne se fait qu'une très-petite réfraction des rayons, et par conséquent il ne s'y peut former d'images distinctes que fort au-delà de la rétine.

331. XXI. *Pourquoi les crystallins des poissons sont-ils des globes sensiblement sphériques et solides ?*

L'humeur aqueuse eût été inutile dans les yeux des poissons, et si leur crystallin eût été enfoncé comme dans les animaux terrestres, leur vision n'eût pas eu assez de champ : il a donc fallu placer le crystallin sous la prunelle, donner beaucoup d'ouverture à cette prunelle, faire ce crystallin plus dense pour rendre la réfraction plus grande, et le faire sphérique pour laisser peu d'intervalle entre sa surface intérieure et le fond de l'œil.

332. XXII. *Pourquoi ceux qui regardent un flambeau en clignant les yeux ou en pleurant, voient-ils sortir du flambeau des traînées de lumiere, surtout dans la partie supérieure et dans la partie inférieure ?*

C'est l'effet d'une réfraction irréguliere, qui se fait dans les liqueurs qui humectent les bords des paupieres, qu'on approche des bords de la prunelle en clignant les yeux, ou dans celles qui se répandent sur la cornée en pleurant.

333. XXIII. *Pourquoi un objet vu à travers d'un verre à facettes, paroît-il multiplié à proportion du nombre de ces facettes?*

De tous les rayons, qui partis d'un objet un peu éloigné tombent sous des angles à-peu-près égaux sur l'étendue d'une des facettes, plusieurs parviennent à l'œil par le moyen des deux réfractions : ils forment un faisceau capable de peindre dans l'œil une image de l'objet, qui doit par conséquent paroître situé dans l'axe de ce faisceau. Or chacune de ces facettes étant différemment située l'une à l'égard de l'autre, elles doivent produire autant de faisceaux, dont les axes ont des positions déterminées par celles des facettes; on doit donc voir autant d'images différentes et différemment situées, qu'il y a de facettes qui envoient des rayons dans l'œil.

334. XXIV. *Pourquoi les objets paroissent-ils si gros par le moyen de la Lanterne Magique?*

AC (Fig. 44) est un miroir sphérique-concave, B une forte lumiere posée un peu en-deçà du foyer, pour faire converger les rayons de lumiere réfléchis sur le miroir, DD une lentille de verre pour les faire converger davantage, aussi bien que ceux qui viennent directement du flambeau B; EF est un objet peint de couleurs transparentes, sur un morceau de glace et dans une situation renversée. Les rayons qui traversent cet objet, tombent sur la lentille GH, qui les fait converger et former une image en K, où se trouve l'ouverture d'un diaphragme, qui arrête les rayons inutiles, et dont la réfraction est irréguliere. Les rayons s'étant croisés en K, rencontrent une lentille LM d'un foyer assez long, qui fait diverger extrêmement tous ces rayons, qu'on reçoit sur un plan blanc et uni, à la plus grande distance qu'il est possible, en ménageant la lumiere et la distinction dans l'image *f e* qui se

peint droite sur ce plan. Or il est visible que pour produire tous ces effets, la lentille DD doit avoir son foyer en-deçà de B, la lentille GH doit avoir un de ses foyers entr'elle et l'objet EF, le foyer de la lentille LM doit être au-delà de K vers GH.

335. XXV. *Pourquoi en regardant une bougie au travers d'un petit trou fait dans une plaque de métal, et rempli d'une goutte de liqueur transparente, et qui contient de petits animaux, voit-on quelquefois très-distinctement un de ces animaux extrémement gros ?*

La surface intérieure de la goutte est à l'égard de l'animal qui y nage, comme un miroir sphérique-concave. Si donc l'animal est entre le foyer et la surface intérieure opposée à l'œil, en sorte que les rayons partis de l'animal et réfléchis sur cette surface qui les renvoie du côté de l'œil, viennent à sortir de la boule paralleles entr'eux, l'œil qui les recevra verra l'image de la surface de l'animal qui est opposée à l'œil, et cette image sera d'autant plus grande, que l'animal sera plus près du foyer du miroir sphérique qui la forme.

FIN DE L'OPTIQUE.

TABLE
DES TITRES

Contenus dans ces Éléments.

Leçons *Élémentaires d'Optique.* Page 1

PREMIERE PARTIE.

De l'Optique proprement dite.

Article Ier. *Des principes sur lesquels les démonstrations de l'Optique sont fondés.* 2
— II. *Des propriétés générales de la Lumiere.* 4
Addition. *De l'Aberration.* 9
Suite des propriétés de la Lumiere. 10
Art. III. *Des propriétés des Ombres.* 13
— IV. *De la nature et des propriétés de la Lumiere par rapport à la vision et aux couleurs.* 17
— V. *Des idées que la vue occasionne dans notre ame.* 26
— VI. *Des différentes apparences des objets vus de loin.* 29

SECONDE PARTIE.

Qui contient la Catoptrique et la Dioptrique.

CHAPITRE Ier. *Notions générales sur la Catoptrique et la Dioptrique.* 41
Article Ier. *Des Images et des Foyers.* ibid.
— II. *Loix ou principes tirés de l'expérience, sur lesquels on fonde les démonstrations de la Dioptrique et de la Catoptrique.* 43
Addition. *De la mesure de la Réfraction.* 46

CHAP. II. *De la Catoptrique.* 50
Art. Ier. *Des Images ou Foyers par réflexion.* ibid.
Add. *Définition des Foyers par les caustiques.* ibid.
— *De la grandeur des Images dans les Miroirs.* 51
Suite des Images ou Foyers par réflexion. 53

ARTICLE II. *Du Lieu, de la Situation, et de la Marche des Images par réflexion.* 55
— III. *Application de la Théorie précédente aux Miroirs plans.* 60
ADDITION. *Addition sur les Miroirs plans.* 61
— IV. *Des Miroirs Cylindriques, Coniques, etc.* 66

CHAPITRE III. *De la Dioptrique.* 69
ART. Ier. *Des Images ou des Foyers par une simple réfraction.* ibid.
— II. *De la Marche des Images qui répond à celle d'un objet dans le passage de la Lumiere de l'air dans le verre, et réciproquement.* 71
ADD. *De la grandeur des Images par le passage de la Lumiere de l'air dans le verre.* 73
— *De la grandeur de l'Image dans le cas où l'objet est placé en dedans du verre, et fait sa marche dans ce dernier milieu.* 75
ART. III. *Des Images faites par une double réfraction.* 77
— IV. *De la Marche et de la situation des Images formées par une double réfraction.* 83
ADD. *De la grandeur de l'Image dans les verres lenticulaires convexes.* 86
— *Lentille plan convexe.* 87
— *Lentille concave.* ibid.
— *Lentille plan concave.* 88

CHAP. IV. *De la Vision.* ibid.
ART. Ier. *Description de l'Œil et des Images qui s'y forment.* ibid.
— II. *De la Vision distincte. Des différents accidents de la Vue, avec les remedes que fournit la Dioptrique.* 91
— III. *De la Vision faite à l'aide des Verres ou Miroirs.* 96

CHAP. V. *Des Télescopes et Microscopes.* 100
ART. Ier. *Notions préliminaires.* ibid.
— II. *Des Télescopes par réfraction.* 102
— III. *Des Télescopes Catadioptriques.* 107
— IV. *Des Microscopes.* 110
— V. *Remarques générales sur les Télescopes et Microscopes.* 114
ADD. *De la grandeur et de la position des Images dans les Microscopes.* 116
— *De la grandeur et de la position des Images dans les Télescopes.* 117
Suite des Remarques sur les Télescopes. 120

CHAPITRE VI. *Des obstacles qu'on rencontre dans la construction des Télescopes et Microscopes, et qui les rendent nécessairement imparfaits.* 123
ARTICLE Ier. *Des obstacles qui viennent de la sphéricité des surfaces, et de la maniere d'y remédier.* 124
— II. *Des obstacles qui viennent de la décomposition des rayons de la Lumiere.* 126
ADDITION. *Sur la dispersion de la Lumiere.* 127
Suite des obstacles qui viennent de la décomposition de la Lumiere. 128
— III. *Application générale des propriétés précédentes de la Lumiere aux Télescopes et aux Microscopes.* 130
— IV. *Application aux Télescopes et Microscopes par réfraction.* 131
ADD. *Des Lunettes Achromatiques.* 139
— V. *Application aux Télescopes et Microscopes Catadioptriques.* 143
ADD. *De l'Iris.* 145
CHAP VII. *Diverses questions sur l'Optique.* 150

FIN DE LA TABLE.

ERRATA.

PAGE 61, lig. 23, ADD'M, *lisez* ADD'N.
Ibid. lig. 24, AFF'M, *lisez* ADD'N.
— 71, lig. 12, $q+20$, *lisez* $q=20$.
— 73, lig. 5, $\frac{20\,dr}{11d\ \ 31r}$, *lisez* $\frac{20\,dr}{11d-31r}$.
— 75 lig. 19, $=\frac{20\,dr}{-11dr-31r}$ On, *lisez* $=\frac{20\,dr}{-11d-31r}$, et on
— 76, lig. 10, $\frac{-f+r}{d-r}$, *lisez* $\frac{f+r}{d-r}$.
— 77, ligne 19, d'un O, *lisez* d'un objet O.
— 78, lig. 17, $\frac{p\,m}{q}$ BT; *lisez* $\frac{p\,m}{q}$: BT.
— 79, lig. 26, FCD, *lisez* FGT.
Ibid. lig. 31, 183, *lisez* 185.
— 82, lig. 3, OD, *lisez* OL.
Ibid. lig. 23, 193, *lisez* 195.
— 83, lig. 14, $\frac{12}{11}r$, *lisez* $\frac{10}{11}r$.
— 85, ligne derniere, $\frac{}{100}$, *lisez* $\frac{1}{100}$.
— 87, lig. 3, $\frac{20\,d\,r}{11\,d\,.\,20\,r}$, *lisez* $\frac{20\,d\,r}{11\,d-20\,r}$.
— 119, lig. 2, $\frac{2\,(F+f)\,f}{2\,(E+f-f)}$, *lisez* $\frac{2\,(F+f)\,f}{2\,(F+f-f)}$.
Ibid. lig. 24, *b k d*; *lisez b* K *d*.
Ibid. V; donc V, *lisez v*; donc *v*.
— 133. lig. 11, $\frac{1}{}$ *lisez* $\frac{1}{55}$.
— 137, lig. 8, 4e colonne, 7, *lisez* $7\frac{1}{2}$.
Ibid. lig. 13, même colonne, 11, *lisez* $11\frac{1}{2}$.
— 145, lig. 9, ignes, *lisez* lignes.
— 149, lignes 13, 16, 18, 19 *q*, *lisez p*.

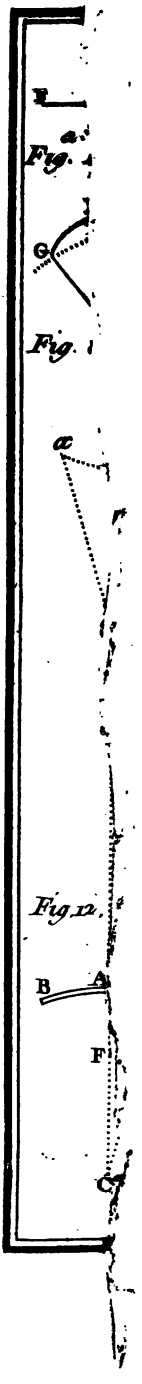
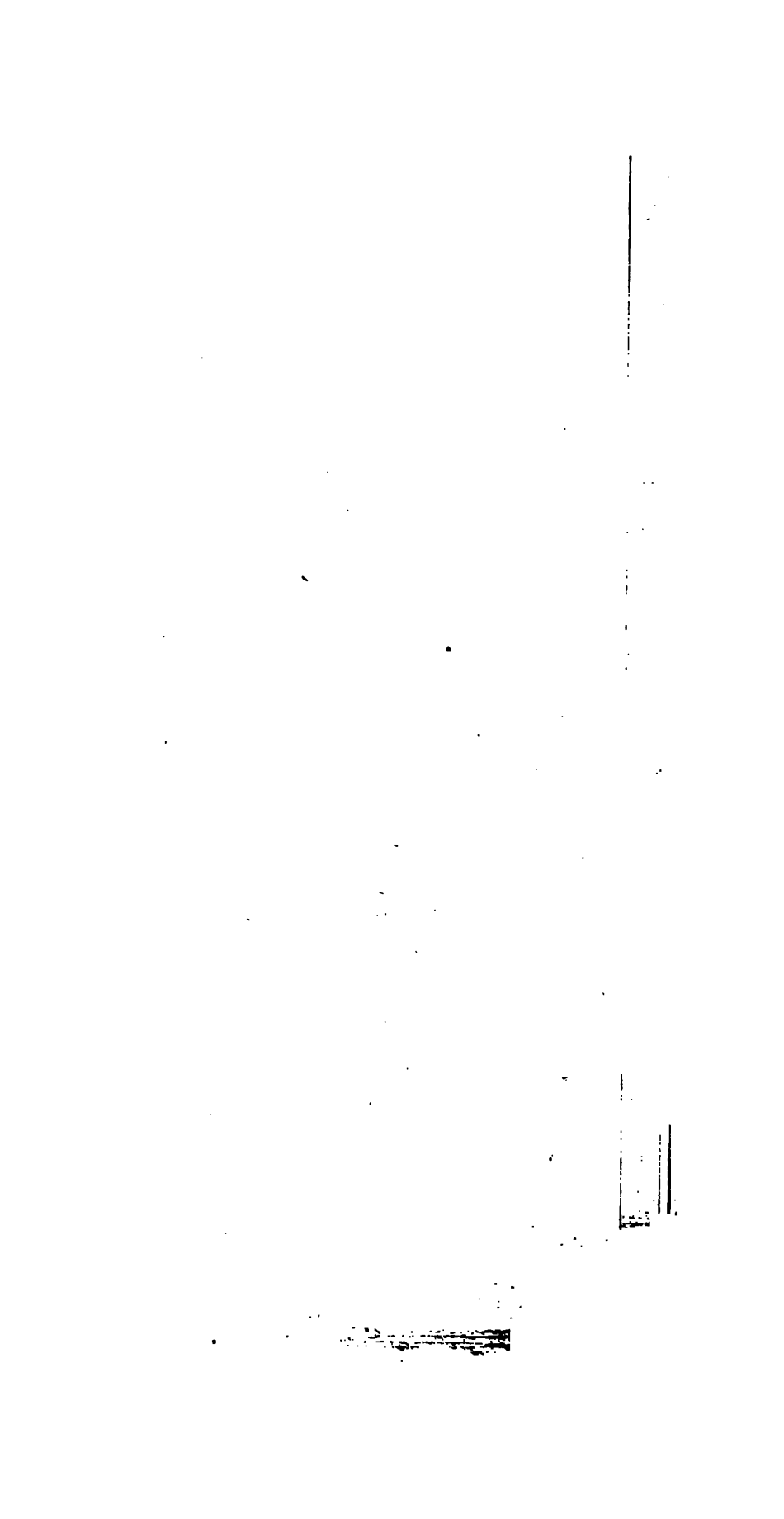
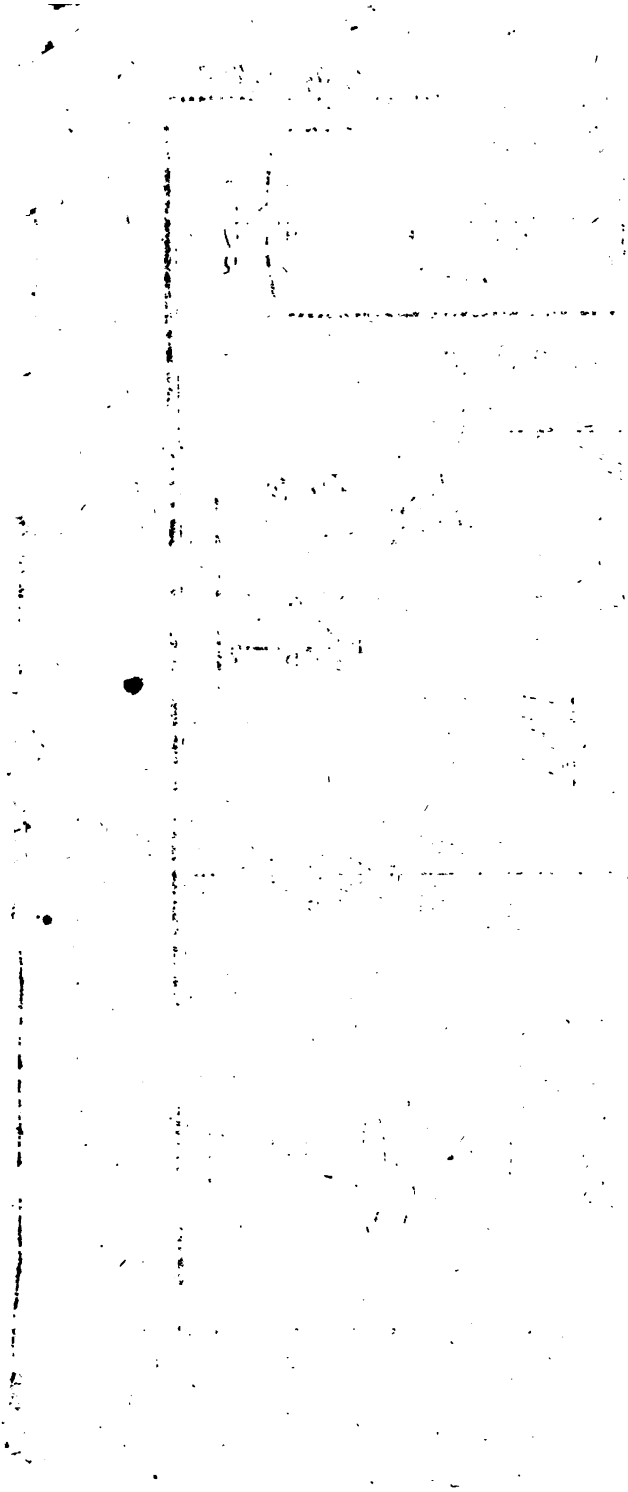
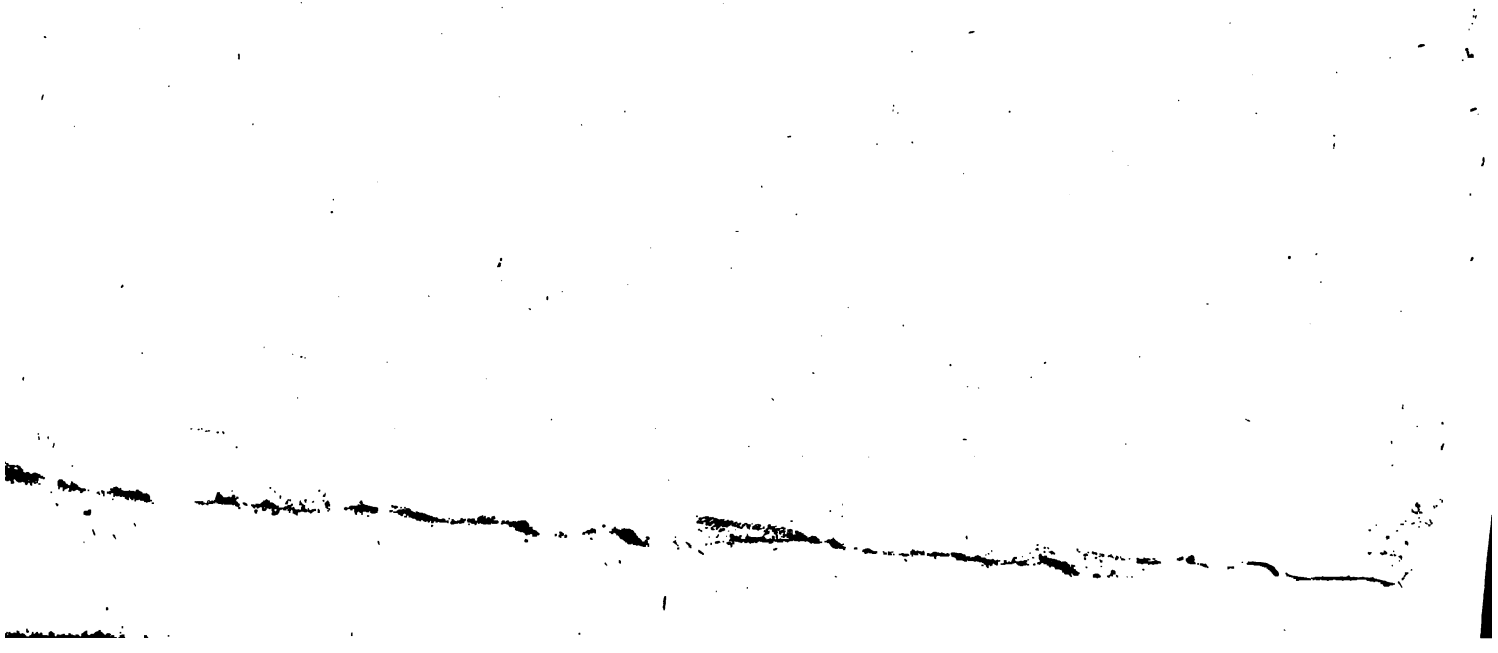


Fig.
G
Fig.
a
Fig. 12.
B
A
F
C